

Treball de Fi de Grau

# **GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS**

## **Construcció d'un micro-braç articulat: Part mecànica**

### **MEMÒRIA**

**Autor:** Guillem Ferré Domènech  
**Director:** Juan Manuel Moreno Eguílaz  
**Convocatòria:** 09/2016



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest projecte té com a objecte d'estudi un braç robòtic de petites dimensions basat en una paletitzadora de l'empresa ABB. Tot l'estudi culmina amb la construcció del robot, propietat del Departament d'Enginyeria Electrònica.

L'objectiu principal és realitzar la part mecànica del model coneixent-ne perfectament el seu funcionament, utilitzant les impressores 3D de què disposa l'aula RepRap de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona i cercant la resta de peces en proveïdors locals.

Per a fer l'estudi de l'artefacte s'utilitzarà el SolidWorks pel disseny de les peces, codis per a Matlab propis de l'autor basats en el mètode Newton-Raphson pel càlcul de les configuracions geomètriques per a l'estudi cinemàtic i l'Ansys per a l'estudi resistiu, havent realitzat prèviament un estudi del material utilitzat per imprimir les peces, l'àcid polilàctic (un polímer termoplàstic biodegradable), amb una màquina INSTRON model 3366.

El resultat final, com s'ha dit amb anterioritat, és la fabricació del model tenint-ne el procés perfectament descrit, el seu cost, els proveïdors utilitzats, així com totes les peces en format digital per poder-les imprimir i la informació d'aquestes impressions.

La conclusió final d'aquest projecte es veu reflectida amb el resultat que se n'obté, una guia completa del funcionament i construcció del mecanisme amb opcions de millora i reducció de costos.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>3</b>
<b>SUMARI</b>	<b>5</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del projecte .....	9
2.2. Motivació .....	9
2.3. Requeriments previs .....	9
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
3.1. Objectius del projecte.....	11
3.2. Abast del projecte .....	11
<b>4. HISTÒRIA SOBRE L'ARTEFACTE [2]</b>	<b>13</b>
4.1. Braç robòtic ABB [3].....	13
4.1.1. Paletitzadora robòtica d'alta velocitat.....	13
4.1.2. Capacitat [5] [6].....	14
<b>5. ESTUDI CINEMÀTIC DEL ROBOT</b>	<b>15</b>
5.1. Anàlisi de configuracions 2D.....	17
5.2. Anàlisi de velocitats 2D .....	20
5.3. Anàlisi d'acceleracions 2D .....	22
5.4. Detecció de configuracions singulars i restriccions 2D.....	23
5.4.1. La biela interfereix amb el separador.....	23
5.4.2. El transmissor_1 interfereix amb la tapa de les plaques .....	23
5.4.3. El braç interfereix amb l'avantbraç.....	24
5.4.4. El transmissor_2 interfereix amb la femella del servomotor del lateral_1 .....	24
5.4.5. Bifurcació: alineació entre transmissor_1 i l'avantbraç .....	25
5.5. Anàlisi de configuracions 3D.....	26
5.6. Anàlisi de velocitats 3D .....	27
5.7. Anàlisi d'acceleracions 3D .....	29
5.8. Incorporació de sensors al sistema .....	30
<b>6. ESTUDI DE RESISTÈNCIA DEL ROBOT</b>	<b>31</b>
6.1. Assaig de l'Àcid Polilàctic.....	31
6.2. Estudi de les tensions .....	34

6.3. Estudi de les deformacions .....	37
6.4. Altres materials .....	39
6.4.1. Metacrilat .....	39
6.4.2. Acer Inoxidable .....	40
<b>7. MUNTATGE DE L'ARTEFACTE .....</b>	<b>43</b>
7.1. Escandall .....	43
7.2. Passos [10] .....	46
7.3. Informació de les impressions 3D .....	65
7.4. Costos i proveïdors .....	67
<b>8. PRESA DE DECISIONS .....</b>	<b>71</b>
<b>9. PROPOSTA DE MILLORES .....</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>75</b>
<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>79</b>
Referències bibliogràfiques .....	79
<b>10. ANNEX .....</b>	<b>81</b>
10.1. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson sense restriccions 2D. ....	81
10.2. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson amb restriccions 2D.....	83
10.2. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson amb restriccions 3D.....	85
10.3. Especificacions tècniques del metacrilat.....	88
10.4. Plànols .....	89
10.5. Especificacions tècniques .....	121
10.6. Carga horària de treball del projecte .....	129

## 1. Glossari

*UArm o MicroArm*: u fa referència a la escala d'unitats micro i arm és braç en anglès, aquesta denominació és fa servir per a braços articulats robòtics de petita dimensió.

*FDM*: les sigles FDM fan referència a Modelat per Deposició Fosa, en anglès: "Fused Deposition Modeling".

*SLS*: les sigles SLS fan referència a Sinteritzat Làser Selectiu, una tècnica manufactura additiva que utilitza un làser per sinteritzar el material en pols, en anglès: "Selective Laser Sintering".

*SLA*: les sigles SLA fan referència a Estereografia, una tècnica manufactura additiva que utilitza la llum per fotopolimeritzar polímers i construeix els models capa a capa, en anglès: "Stereolithography".

*PLA*: les sigles PLA fan referència a Àcid Polilàctic és un polímer termoplàstic i biodegradable que s'utilitza com a material del model en la tècnica de manufactura FDM, en anglès: "Polylactic Acid"





## 2. Prefaci

### 2.1. Origen del projecte

L'objecte del projecte que aquí es tracta és totalment didàctic i, en una possible acceptació del prototip aquí presentat, cabria la possibilitat que es generes una assignatura d'un caire semblant a la de *Projecte I* i *Projecte II* on l'alumnat hagués de fer l'estudi del model i dissenyar un codi informàtic específic per resoldre uns problemes d'utilització de l'artefacte determinats pel professor.

L'anterior idea és originària del professor Juan Manuel Moreno Eguílaz, i el projecte s'ha dividit en dues parts independents: una de mecànica, on s'estudia el sistema mecànic de l'artefacte i se'n desenvolupa un prototip tangible; i una d'electrònica-informàtica, on s'escull l'electrònica que s'utilitzarà i se'n programa el codi per utilitzar-lo de manera remota.

Aquest text fa referència a la primera part definida i, per tant, les posteriors línies tractaran de l'estudi del braç i de la seva conformació en un aspecte mecànic.

### 2.2. Motivació

La motivació principal ha estat l'ha d'aplicar els coneixements adquirits durant el Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials de l'ETSEIB per aconseguir desenvolupar un producte final tangible i, partint d'un model inicial, aconseguir millorar-lo en diferents aspectes.

Un altre punt d'interès era la utilització de tecnologies de prototipatge ràpid per a poder fer les diferents peces del mecanisme, doncs personalment crec que és un camp de molt interès industrial i s'ha potenciat en els últims anys, quan s'ha patit una recessió i les indústries han hagut de minimitzar els costos de les produccions en els seus prototips.

### 2.3. Requeriments previs

Els requeriments previs han estat la possessió d'un software de disseny com el SolidWorks utilitzat a la universitat. Referents a aquest requeriment, hi ha hagut problemes en la llicència, doncs la que s'oferia en la biblioteca per a tots els estudiants estava obsoleta i degut a la realització d'aquest projecte ja s'ha modificat per una nova.



## 3. Introducció

### 3.1. Objectius del projecte

El principal objectiu del projecte és aconseguir un prototip d'un model de "MicroArm" semblant al que hi ha al mercat, fabricat per part de l'empresa UFactory [1].

Altres objectius secundaris:

- Utilitzar la tècnica de prototipatge ràpid disponible en l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona en l'aula RepRap, la impressió 3D de FDM (Modelat per Deposició Fosa).
- Modificar el disseny de què es parteix, adquirit per enginyeria inversa, és a dir, d'un producte acabat extreure'n la informació necessària per reproduir-lo, per tal de millorar-lo i incloure altres tecnologies encara no aplicades en el model.
- Procurar, tenint en compte que es tracta d'un prototip, de minimitzar els costos.
- Buscar tots els proveïdors propers per si es vol repetir la construcció del model.
- Deixar per a l'abast de qualsevol una documentació clara i completa per poder construir un micro braç articulad.

### 3.2. Abast del projecte

L'abast del projecte es determinarà en els punts següents:

- Aconseguir un prototip de la part mecànica incloent-hi els motors i sensors.
- Definir el seu procés de producció i muntatge acuradament i explicitant tots els passos a seguir perquè sigui fàcilment reproducible.
- Calcular i definir l'espai de treball del braç.
- Calcular els diferents esforços que pateix l'estructura.
- Documentar completament el muntatge del braç.



## 4. Història sobre l'artefacte [2]

La idea original es concep i es duu a terme per UFactory, un grup de joves enginyers de Shenzhen (Xina) que aconsegueixen fons per a materialitzar la idea mitjançant la plataforma web [www.kickstarter.com](http://www.kickstarter.com). Inicien la recerca de diners el febrer de 2014 posant-se com a meta uns 5.000\$, la recaptació a dia d'avui, dos anys més tard és d'una mica més de 250.000\$ amb que superen amb un factor 50 les seves expectatives. El model en què es basa aquesta maqueta és el robot industrial de ABB IRB460, com es pot veure en la figura 4.1.



Fig. 4.1. Robot ABB IRB460 [3].

### 4.1. Braç robòtic ABB [3]

#### 4.1.1. Paletitzadora robòtica d'alta velocitat

L'abril de 2011 sortia a premsa que ABB augmentava la seva gamma de paletitzadores amb dos nous robots, un d'ells era on rau l'interès d'aquests projecte, l'IRB 460. [4]

Aquest robot es va concebre per a dur tasques de col·locació de productes en un palet, augmentant la producció en la última fase d'aquesta, a més de generar un programa de fàcil ús per als treballadors a l'hora de dissenyar el cicle de treball, arribant-se a dir que en uns quants minuts es pot dissenyar el procés.

#### 4.1.2. Capacitat [5] [6]

Es tracta d'un robot molt compacte amb una capacitat de 110 kg i definit com el robot paletitzador més ràpid del món. Es capaç d'executar fins a 2190 cicles de treball per hora, disposant de 4 eixos, té un abast de 2,4 metres, ocupa 20% menys d'espai i funciona un 15% més ràpid que els seus rivals més propers.

La seva àrea de treball és la representada en la *figura 4.2*:

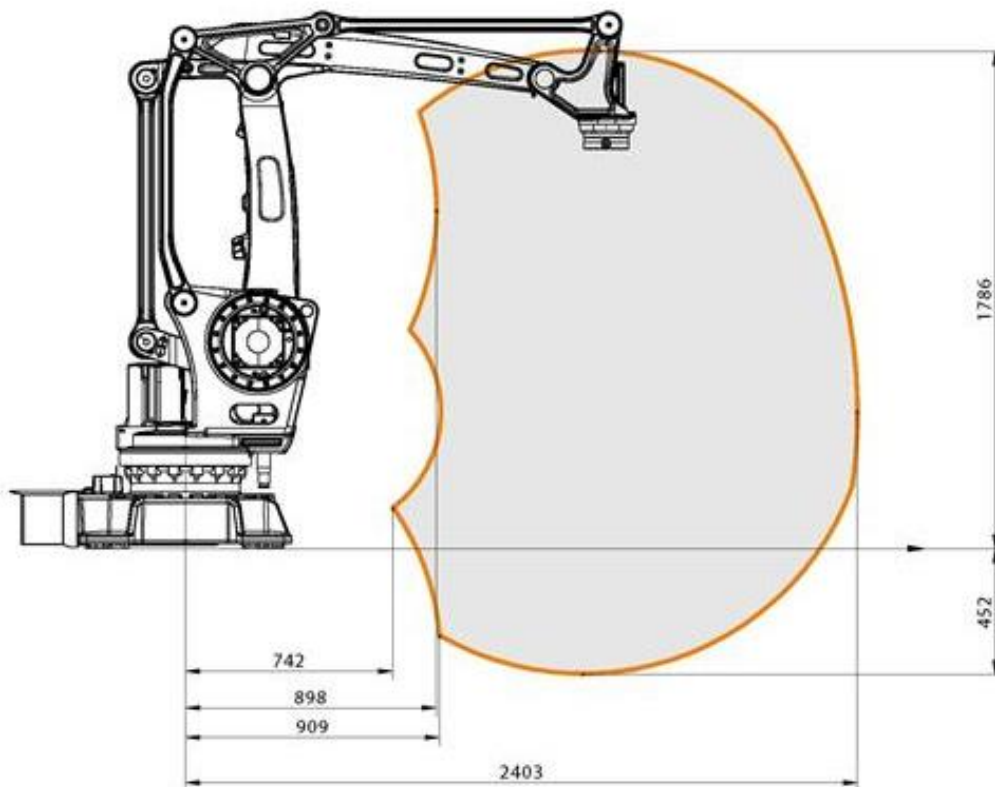


Fig. 4.2. Zona de treball del Robot ABB IRB460 [3].

## 5. Estudi cinemàtic del robot

L'estudi cinemàtic del model es fa per tal de conèixer les seves possibilitats de moviment. En el cas que s'hagués d'implementar en algun procés industrial es podria conèixer per avançat si l'artefacte podria fer el recorregut demanat i quins moviments s'haurien de dur a terme en cada motor per aconseguir l'objectiu proposat.

Prèviament a fer aquest estudi, al tractar-se d'un mètode d'enginyeria inversa, s'han d'esquematzar totes les parts mòbils del mecanisme per tal de facilitar aquesta tasca. El resultat obtingut és el següent:

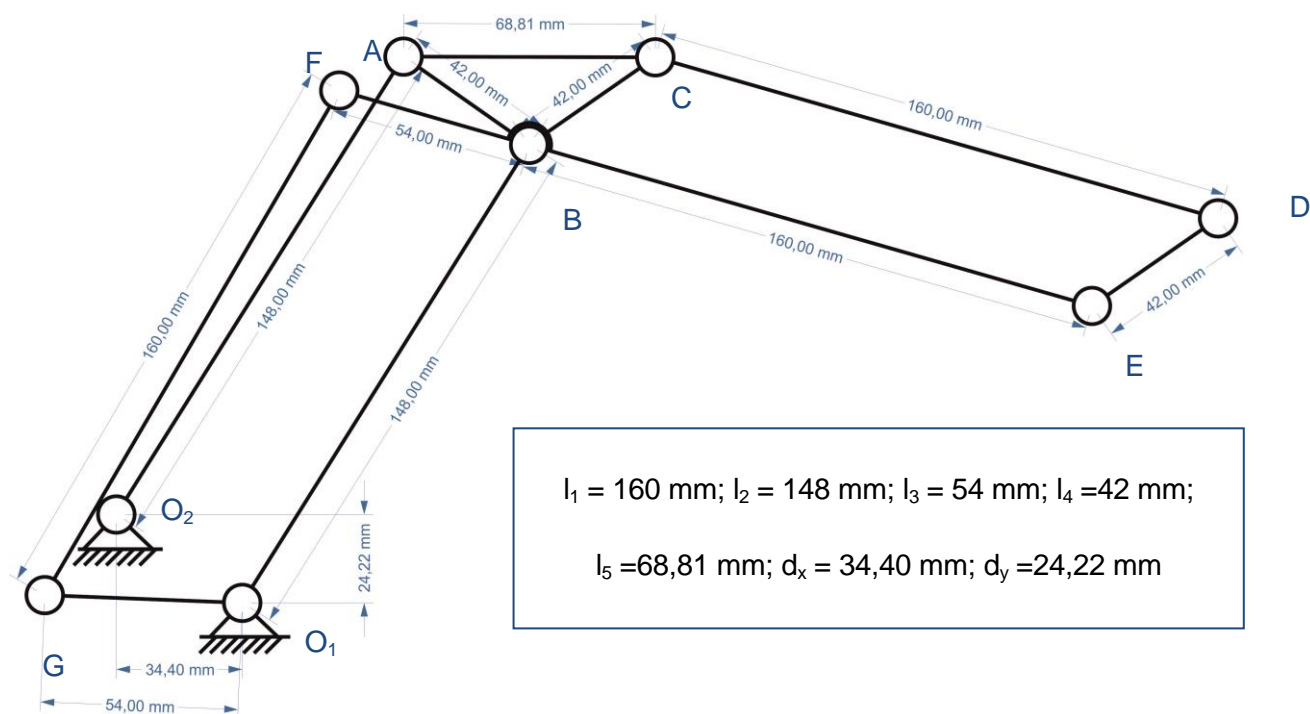


Fig. 5.1. Esquematzació de les parts mòbils del braç amb cotes. Font pròpia.

Seguidament a aquest pas, se li designarà una variable a cada longitud del braç per a facilitar la posterior creació de les equacions d'enllaç del sistema. Aquestes equacions ens permetran conèixer les relacions existents entre les posicions dels diferents components i els moviments dels servomotors.

Una vegada duta a terme aquesta tasca, es definiran els angles de rotació de cada element, podent-se observar que hi ha dues coordenades independents que coincideix amb

el nombre de graus de llibertat, per tant estem davant un sistema holònom. Aquestes dues coordenades independents són les que es mouen a partir dels dos servomotors laterals.

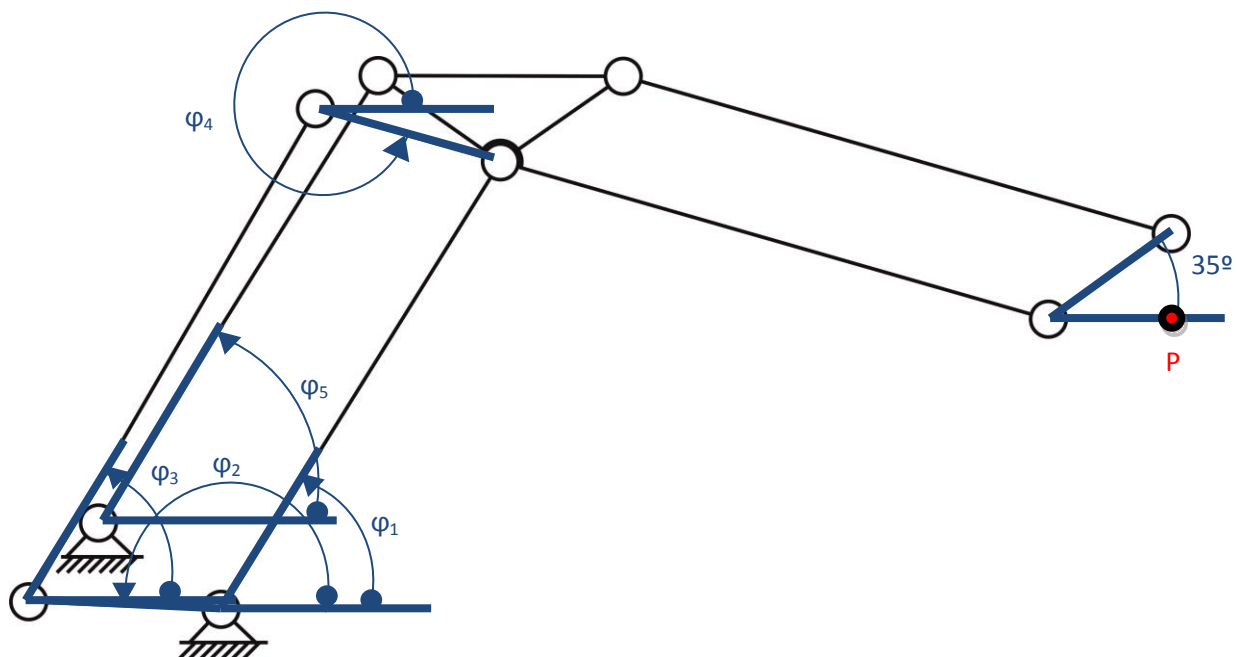


Fig. 5.2. Esquematzació amb els angles de rotació. Font pròpia.



## 5.1. Anàlisi de configuracions 2D

Es pot veure amb una mica de deteniment que pel fet que el triangle ABC només es trasllada i no rota sobre sí mateix, l'angle que forma el capçal amb l'horitzontal sempre serà el mateix (aproximadament  $35^\circ$ ). I, per tant, les coordenades d'interès seran  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  i  $\varphi_4$ . També es veu que  $\varphi_5$  és igual a  $\varphi_1$ .

Les equacions d'enllaç han de ser 2, ja que es tenen 4 coordenades i dues d'aquestes són independents, i es vol relacionar les dependents amb les independents; per tant, resulta:

$$l_2 \cdot \cos(\varphi_1) - l_3 \cdot \cos(\varphi_4) - l_1 \cdot \cos(\varphi_3) - l_3 \cdot \cos(\varphi_2) = 0 \quad (\text{Eq. 5.1})$$

$$l_2 \cdot \sin(\varphi_1) - l_3 \cdot \sin(\varphi_4) - l_1 \cdot \sin(\varphi_3) - l_3 \cdot \sin(\varphi_2) = 0 \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Amb aquesta informació es podrà conèixer la posició del punt P, que és el punt de treball del mecanisme i es determina com:

$$P_x = l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) \quad (\text{Eq. 5.3})$$

$$P_y = l_2 \cdot \sin(\varphi_1) + l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \quad (\text{Eq. 5.4})$$

L'anàlisi d'un sistema mecànic definit amb un conjunt no mínim de coordenades generalitzades requereix la determinació de quin és el subespai de configuracions accessibles o, el que és el mateix, trobar solucions de les equacions d'enllaç geomètriques per a un instant determinat si són funció explícita del temps. La resolució d'aquest sistema molt poques vegades es pot fer analíticament i cal recórrer, en general, a mètodes numèrics de diferents tipus –minimització de funcions escalars, aproximacions successives, etc.- el més conegut dels quals és el mètode de Newton-Raphson [7].

Aquest mètode resol el sistema d'equacions d'enllaç  $\phi(q)=0$  per aproximacions successives a partir d'una configuració inicial aproximada i linealitzant-lo a l'entorn de la configuració obtinguda en el pas anterior. La linealització d'una equació d'enllaç  $\phi_i(q)=0$  al voltant d'una configuració  $q^0$  dona lloc a l'expressió:

$$\phi_i(q) = 0 \approx \phi_i(q^0) + \frac{\partial \phi_i}{\partial q_1}(q_1 - q_1^0) + \dots + \frac{\partial \phi_i}{\partial q_n}(q_n - q_n^0) \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Si es linealitzen totes les equacions d'enllaç  $\phi(q)=0$  s'obté en forma matricial:

$$\phi_i(q) = 0 \approx \phi(q^0) + \phi_q(q^0)\Delta q \quad \text{amb} \quad \phi_q = \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial \phi_1}{\partial q_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \phi_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial \phi_m}{\partial q_n} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.6})$$

on  $\phi_q$  és la matriu jacobiana o la matriu de derivades parcials del sistema de les equacions d'enllaç geomètriques respecte de les coordenades generalitzades.

El mètode Newton-Raphson itera l'equació 5.6 fins que  $\phi(q)$  és inferior a una tolerància  $\epsilon$ .

S'ha generat un codi Matlab (veure *annex 8.1*) per tal de calcular les posicions assequibles per l'artefacte, se n'estudia de manera acadèmica diferents situacions amb diferents restriccions (per exemple les limitacions angulars dels servomotors). Es situa l'origen en l'articulació  $O_1$ .

El cas que es pot veure en la *figura 5.3* és el cas més teòric que difereix més de la realitat on l'estructura no té cap restricció mecànica ni té per consideració els punts morts i les posicions no assequibles pel propi muntatge del mecanisme. S'observa que es tracta d'una circumferència generada per trajectòries circulars, aquestes es generen per mitjà de la biela-manovella ( $O_1GF$ )

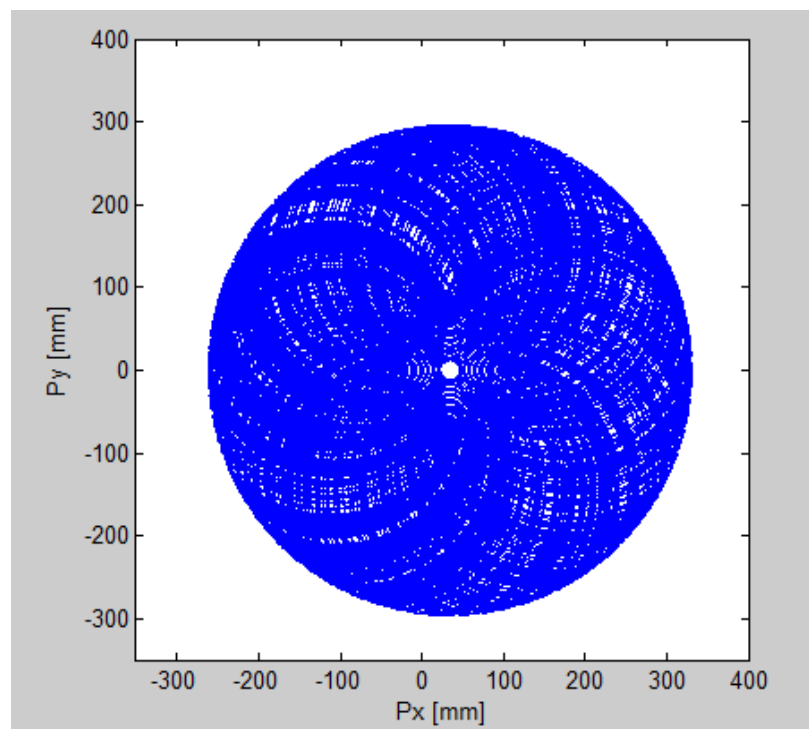


Fig. 5.3. Espai geomètric sense limitacions. Font pròpia.

que incorpora el mecanisme i es van movent mitjançant el moviment de l'anomenat braç en el projecte.

En el següent cas, *figura 5.4*, resultat d'un codi Matlab (*veure annex 8.2*), ja s'hi han incorporat les restriccions mecàniques tal com: el recorregut dels servomotors ( $180^\circ$ ), les interferències mecàniques entre biela i braç amb l'estructura que els suporta i les plaques i, finalment, les posicions no acceptables al tractar-se de llocs geomètrics on el mecanisme hauria arribat a una bifurcació. Es pot observar que l'àrea de treball ha quedat molt limitada respecte la teòrica i es semblant a la proporcionada per UFactory, *figura 5.5*.

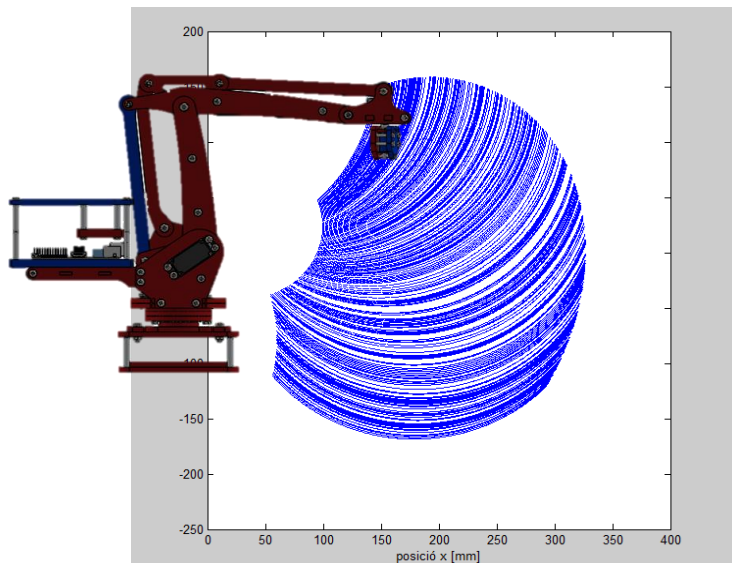


Fig. 5.4. Espai geomètric amb restriccions. Font pròpia.

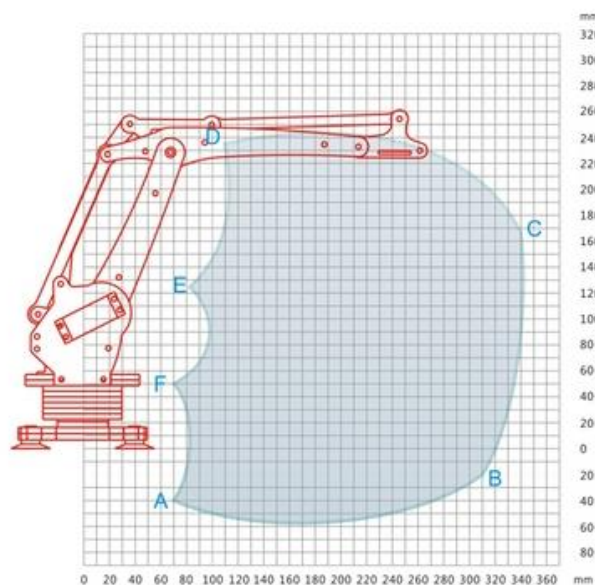


Fig. 5.5. Zona de treball del UArm [2].

## 5.2. Anàlisi de velocitats 2D

Per fer l'anàlisi de velocitats es deriva el sistema d'equacions d'enllaç geomètriques  $\phi(q,t)$  respecte al temps i s'obté un sistema d'equacions cinemàtiques lineals per a les velocitats generalitzades:

$$\frac{d}{dt} \phi(q,t) = \frac{\partial \phi}{\partial q} \cdot \dot{q} + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad \phi_q \cdot \dot{q} + \phi_t = 0 \quad (\text{Eq. 5.7})$$

on  $\phi_t$  és el vector de derivades parcials de  $\phi(q,t)$  respecte del temps i  $\phi_q$  és la matriu jacobiana del sistema d'equacions.

Per determinar totes les velocitats generalitzades en una certa configuració accessible del mecanisme i en un cert instant, cal resoldre aquest sistema d'equacions lineals, que té tantes variables com velocitats generalitzades i tantes equacions com equacions d'enllaç cinemàtiques. Per tal de resoldre aquest sistema es fa una partició del conjunt de velocitats generalitzades en velocitats generalitzades independents  $\dot{q}^i$ , tantes com graus de llibertat, i velocitats generalitzades dependents  $\dot{q}^d$ .

Partint d'aquestes quatre equacions d'enllaç:

$$\phi(q) = \begin{Bmatrix} l_2 \cdot \cos(\varphi_1) - l_3 \cdot \cos(\varphi_4) - l_1 \cdot \cos(\varphi_3) - l_3 \cdot \cos(\varphi_2) \\ l_2 \cdot \sin(\varphi_1) - l_3 \cdot \sin(\varphi_4) - l_1 \cdot \sin(\varphi_3) - l_3 \cdot \sin(\varphi_2) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) - P_x \\ l_2 \cdot \sin(\varphi_1) + l_1 \cdot \sin(\varphi_4) - P_y \end{Bmatrix} = 0 \quad (\text{Eq. 5.8})$$

La seva matriu jacobiana és:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) & 0 & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & 0 \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) & -1 & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.9})$$

Com a coordenades independents es consideren  $P_x$  i  $P_y$ , ja que són les coordenades que interessen del mecanisme i les altres dependran d'aquestes; això porta a:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) & 0 & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & 0 \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) & -1 & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & -1 \end{bmatrix} = [\phi_q^d | \phi_q^i] \quad (\text{Eq. 5.10})$$

$$\dot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1} \cdot [\phi_q^i \cdot \dot{q}^i] = - \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \quad (\text{Eq. 5.11})$$

$$\cdot \left( \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix}$$

Amb la equació 5.11 es poden calcular les velocitats dependents en funció de la velocitat del punt P. La utilitat d'aquest fet és conèixer la velocitat màxima que se li pot donar als servomotors o si aquests tenen capacitat; per tal que la càrrega del capçal no pateixi danys, per exemple.

Si pel contrari es volgués conèixer la velocitat del punt P imposant una velocitat determinada als servomotors l'equació resultant seria:

$$\dot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1} \cdot [\phi_q^i \cdot \dot{q}^i] = - \begin{bmatrix} 0 & 0 & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) \\ 0 & 0 & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) \\ -1 & -1 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \\ 0 & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \quad (\text{Eq. 5.12})$$

$$\cdot \left( \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix}$$

### 5.3. Anàlisi d'acceleracions 2D

Per fer l'anàlisi d'acceleracions de l'artefacte, una vegada s'ha fet l'anàlisi de velocitats, cal trobar la derivada temporal de les velocitats generalitzades. Per això, es torna a derivar respecte del temps, obtenint-se:

$$\dot{\phi}_q \cdot \dot{q} + \phi_q \cdot \ddot{q} + \dot{\phi}_t = 0 \quad \phi_q \cdot \ddot{q} = -(\dot{\phi}_q \cdot \dot{q} + \dot{\phi}_t) \quad (\text{Eq. 5.13})$$

Per a resoldre el sistema d'equacions lineals per les derivades de les velocitats generalitzades, es pot procedir de manera anàloga a com s'ha fet amb les velocitats. S'obté:

$$\ddot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1} [\dot{\phi}_q^i \cdot \ddot{q}^i + \dot{\phi}_q \cdot \dot{q} + \dot{\phi}_t] = - \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \end{bmatrix}^{-1} \cdot$$

$$\cdot \left( \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{P}_x \\ \ddot{P}_y \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_2 \dot{\phi}_1 \cdot \cos(\varphi_1) & l_3 \dot{\phi}_2 \cdot \cos(\varphi_2) & l_1 \dot{\phi}_3 \cdot \cos(\varphi_3) & l_3 \dot{\phi}_4 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & 0 \\ -l_2 \dot{\phi}_1 \cdot \sin(\varphi_1) & -l_3 \dot{\phi}_2 \cdot \sin(\varphi_2) & -l_1 \dot{\phi}_3 \cdot \sin(\varphi_3) & -l_3 \dot{\phi}_4 \cdot \sin(\varphi_4) & 0 & 0 \\ -l_2 \dot{\phi}_1 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \dot{\phi}_4 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 & 0 \\ -l_2 \dot{\phi}_1 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & -l_1 \dot{\phi}_4 \cdot \sin(\varphi_4) & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \\ \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \end{Bmatrix} \right) =$$

$$= \begin{Bmatrix} \ddot{\phi}_1 \\ \ddot{\phi}_2 \\ \ddot{\phi}_3 \\ \ddot{\phi}_4 \end{Bmatrix}$$

(Eq. 5.14)

Els mateixos motius que en la velocitat serveixen per justificar la utilització d'aquest anàlisi, que la càrrega no pateixi danys o que els actuadors tinguin prou capacitat.

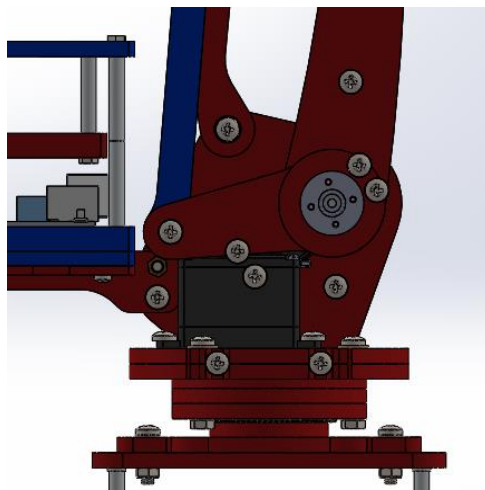
## 5.4. Detecció de configuracions singulars i restriccions 2D

En el codi Matlab emprat s'utilitza un comptador que limita el nombre d'iteracions a realitzar per evitar que el mètode de Newton-Raphson no convergeixi en configuracions singulars i entri en un bucle infinit.

Seguidament, la restricció que es té en compte és la capacitat dels servomotors que té el mecanisme. En la implementació s'ha utilitzat uns servomotors de  $180^\circ$ , per tant aquesta serà l'amplitud màxima de treball dels angles  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$ .

La resta de restriccions són bàsicament bifurcacions, on el mecanisme té més camins de moviment dels que hauria pels seus graus de llibertat; i interferències entre les peces del mecanisme. En el cas que es treballa són les que es descriuen a continuació:

### 5.4.1. La biela interfereix amb el separador



Aquesta situació es dona quan  $\varphi_2$  és igual a  $188^\circ$ ; la biela arriba a la seva màxima obertura, per tant, la restricció que imposa aquest fet és que  $\varphi_2 < 188^\circ$  i com a conseqüència de la capacitat del servomotor de  $180^\circ$ , el seu camp de treball queda limitat a  $8^\circ < \varphi_2 < 188^\circ$ . La restricció es veu de manera clara en la *figura 5.6*:

Fig. 5.6. Interferència Biela-Passador. Font pròpia.

### 5.4.2. El transmissor\_1 interfereix amb la tapa de les plaques

En aquest cas s'han de complir les *equacions 15 i 16* perquè això és doni:

$$34,43 \cdot \cos(\varphi_3) + l_3 \cdot \cos(\varphi_2) = -64,28 \quad (\text{Eq. 5.15})$$

$$34,43 \cdot \sin(\varphi_3) + l_3 \cdot \sin(\varphi_2) = 52,80 \quad (\text{Eq. 5.16})$$

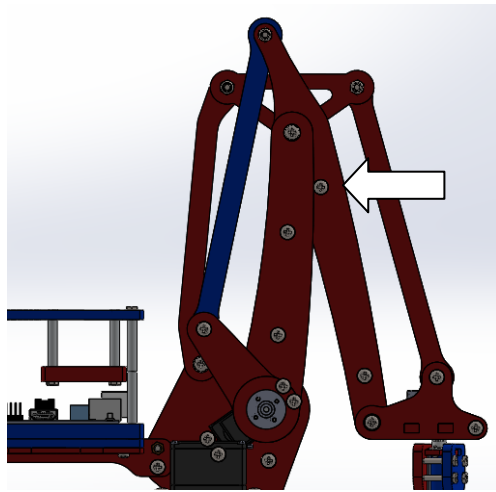
Aquestes equacions calculen la posició d'un punt del transmissor\_2 i quan aquest està en

les coordenades (-64,28;52,80) amb origen a l'articulació del braç s'inicia la interferència, per tant, la restricció genera les següents inequacions on el mecanisme no podrà accedir:

$$34,43 \cdot \cos(\varphi_3) + l_3 \cdot \cos(\varphi_2) \leq -64,28 \quad (\text{Eq. 5.17})$$

$$34,43 \cdot \sin(\varphi_3) + l_3 \cdot \sin(\varphi_2) \geq 52,80 \quad (\text{Eq. 5.18})$$

#### 5.4.3. El braç interfereix amb l'avantbraç



Aquesta interferència es dona pel fet que existeixen separadors en el mecanisme que toquen amb els altres elements, en aquest cas l'angle mínim entre  $\varphi_2$  i  $\varphi_1$  perquè això no passi és  $43,23^\circ$ . De tal manera,  $\varphi_2$  menys  $\varphi_1$  haurà de ser major o igual a  $43,23^\circ$ . En la figura 5.7 es mostra un cas límit:

Fig. 5.7. Interferència Avantbraç-Braç. Font pròpia.

#### 5.4.4. El transmissor\_2 interfereix amb la femella del servomotor del lateral\_1

Per inspecció directa es veu que aquest fet succeeix quan  $\varphi_5$  és igual a  $-13^\circ$  (veure figura 5.8); el mateix que dir que  $\varphi_1$  és igual a  $-13^\circ$  per l'equivalència d'angles que hi ha. Aquest fet provoca que el valor mínim que pot aconseguir  $\varphi_1$  sigui  $-13^\circ$  acotant encara més la restricció imposada per

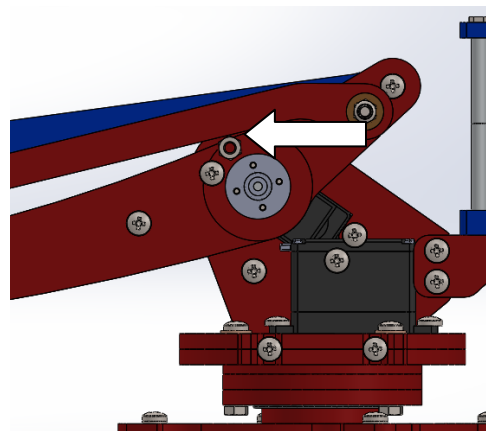


Fig. 5.8. Interferència Transmissor\_2-Femella. Font pròpia.



la capacitat del servomotor ja que si el valor màxim de  $\varphi_2$  és  $188^\circ$  i l'angle mínim entre  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  és  $43,23^\circ$ , l'angle màxim de  $\varphi_2$  és  $144,77^\circ$  (això sense tenir en compte que el transmissor\_1 pot interferir abans amb la tapa de les plaques). Finalment, l'amplitud de treball de  $\varphi_1$  queda reduïda a  $157,77^\circ$  que és menor a la capacitat del servomotor. Encara queda menor quan s'estudia el cas en què el transmissor\_1 interfereix amb la tapa de les plaques; resulta, doncs, per inspecció directa, que el valor màxim de  $\varphi_1$  és  $110^\circ$  disminuint aquesta amplitud de treball a  $123^\circ$ .

#### 5.4.5. Bifurcació: alineació entre transmissor\_1 i l'avantbraç

Per tal que el sistema no arribi en configuracions on pugui evolucionar de diferents maneres que no es poden controlar o en configuracions no aptes per al treball, s'ha trobat que quan s'alineen el transmissor\_1 i l'avantbraç el capçal es capgira impossibilitant la correcta utilització del mecanisme. Aquest fet succeeix quan  $\varphi_4$  és menor a  $220^\circ$  com es pot veure a la *figura 5.9*.

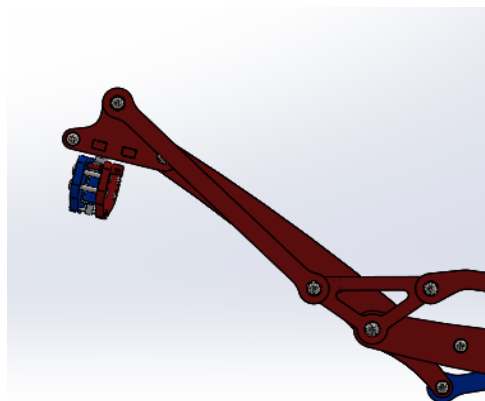


Fig. 5.9. Alineació Transmissor\_1-Avantbraç. Font pròpia.

## 5.5. Anàlisi de configuracions 3D

Una vegada fet l'estudi de l'anàlisi de configuracions en 2D, l'estudi en 3D és immediat doncs l'eix z és una coordenada independent i no hi ha cap altra que depengui d'aquesta. Aquest fet provoca que calculant el volum de revolució que es genera amb l'àrea de treball en 2D i l'eix z s'obtingui el volum de treball del robot.

Respecte la posició del punt P, les variacions que patirà en el seu estudi seran dues:

1. La coordenada que en 2D s'anomenava  $P_y$  passarà a ser  $P_z$ .
2. La coordenada que era  $P_x$  s'haurà de descompondre en x i y pel fet de l'angle que incorpora l'eix z,  $\varphi_z$ . El valor 20,73 és per centrar l'eix z a la seva posició.

$$P_x = (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \cos(\varphi_z) \quad (\text{Eq. 5.19})$$

$$P_y = (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \sin(\varphi_z) \quad (\text{Eq. 5.20})$$

$$P_z = l_2 \cdot \sin(\varphi_1) + l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \quad (\text{Eq. 5.21})$$

S'ha generat un codi Matlab (*veure annex 8.3*) per tal de calcular les posicions assequibles pel robot, el resultat d'aquest són les *figures 5.10 i 5.11*:

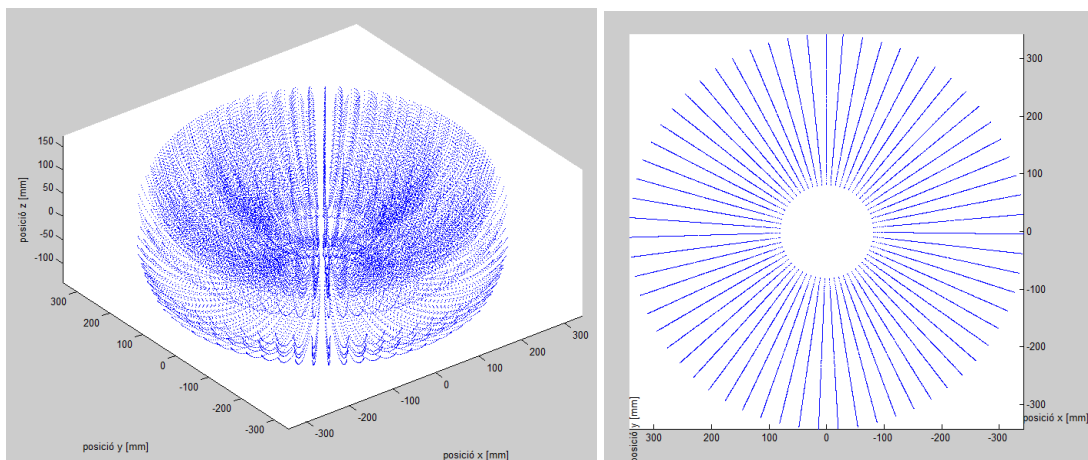


Fig. 5.10. i 5.11 Volum geomètric amb limitacions i projecció en pla X-Y.

Font pròpia.

## 5.6. Anàlisi de velocitats 3D

Partint d'aquestes quatre equacions d'enllaç de l'estudi en 2D (*equació 5.8*) només cal afegir-hi la contribució de l'eix z cosa que generarà una altra equació d'enllaç com s'ha vist en l'anàlisi de configuracions:

$$\phi(q) = \begin{Bmatrix} l_2 \cdot \cos(\varphi_1) - l_3 \cdot \cos(\varphi_4) - l_1 \cdot \cos(\varphi_3) - l_3 \cdot \cos(\varphi_2) \\ l_2 \cdot \sin(\varphi_1) - l_3 \cdot \sin(\varphi_4) - l_1 \cdot \sin(\varphi_3) - l_3 \cdot \sin(\varphi_2) \\ (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \cos(\varphi_z) - P_x \\ (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \sin(\varphi_z) - P_y \\ l_2 \cdot \sin(\varphi_1) + l_1 \cdot \sin(\varphi_4) - P_z \end{Bmatrix} = 0 \quad (\text{Eq. 5.22})$$

La seva matriu jacobiana és:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_z) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \cos(\varphi_z) \dots \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\varphi_z) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \sin(\varphi_z) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \sin(\varphi_z) & -1 & 0 & 0 \\ (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \cos(\varphi_z) & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.23})$$

Com a coordenades independents es consideren  $P_x$ ,  $P_y$  i  $P_z$ , ja que són les coordenades que interessen del mecanisme i les altres en dependran d'aquestes, això porta a:

$$\phi_q = \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) & l_3 \cdot \sin(\varphi_4) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_z) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \cos(\varphi_z) \dots \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\varphi_z) & 0 & 0 & -l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \sin(\varphi_z) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.24})$$

$$\dots \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \sin(\varphi_z) & -1 & 0 & 0 \\ (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \cos(\varphi_z) & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = [\phi_q^d | \phi_q^i]$$

$$\dot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1} \cdot [\phi_t + \phi_q^i \cdot \dot{q}^i] = -[\phi_q^d]^{-1} \cdot \left( \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \\ \dot{\phi}_z \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.25})$$

Amb la equació 5.25 es poden calcular les velocitats que tindran les coordenades dependents en funció de la velocitat del punt P.

## 5.7. Anàlisi d'acceleracions 3D

Per a resoldre el sistema d'equacions lineals per les derivades de les velocitats generalitzades, es pot procedir de manera anàloga a com s'ha fet en el cas 2D. S'obté:

$$\ddot{\mathbf{q}}^d = -[\phi_q^d]^{-1} [\phi_q^i \ddot{\mathbf{q}}^i + \dot{\phi}_q \dot{\mathbf{q}} + \dot{\phi}_t] = - \begin{bmatrix} -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) & l_3 \cdot \sin(\varphi_2) & l_1 \cdot \sin(\varphi_3) \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & -l_3 \cdot \cos(\varphi_2) & -l_1 \cdot \cos(\varphi_3) \\ -l_2 \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_z) & 0 & 0 & \dots \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) \cdot \sin(\varphi_z) & 0 & 0 \\ l_2 \cdot \cos(\varphi_1) & 0 & 0 \\ l_3 \cdot \sin(\varphi_4) & 0 \\ -l_3 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 \\ \dots - l_1 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \cos(\varphi_z) & (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \sin(\varphi_z) \\ - l_1 \cdot \cos(\varphi_4) \cdot \sin(\varphi_z) & (l_2 \cdot \cos(\varphi_1) + l_1 \cdot \cos(\varphi_4) + l_4 \cdot \cos(35^\circ) + 20,73) \cdot \cos(\varphi_z) \\ l_1 \cdot \cos(\varphi_4) & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{P}_x \\ \ddot{P}_y \\ \ddot{P}_z \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_2 \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\varphi_1) & l_3 \dot{\varphi}_2 \cdot \cos(\varphi_2) & l_1 \dot{\varphi}_3 \cdot \cos(\varphi_3) \\ -l_2 \dot{\varphi}_1 \cdot \sin(\varphi_1) & -l_3 \dot{\varphi}_2 \cdot \sin(\varphi_2) & -l_1 \dot{\varphi}_3 \cdot \sin(\varphi_3) \\ -l_2 \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_z) & 0 & 0 & \dots \\ -l_2 \dot{\varphi}_1 \cdot \cos(\varphi_1) \sin(\varphi_z) & 0 & 0 \\ -l_2 \dot{\varphi}_1 \cdot \sin(\varphi_1) & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\varphi}_4 \\ \dot{\varphi}_z \\ \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \end{Bmatrix} \right\} = \begin{Bmatrix} \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \\ \ddot{\varphi}_3 \\ \ddot{\varphi}_4 \\ \ddot{\varphi}_z \end{Bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.26})$$

Resolent aquest sistema es deu trobar les acceleracions en funció d'unes conegudes establertes per restriccions de càrrega o capacitat.

## 5.8. Incorporació de sensors al sistema

Després de realitzar tot l'estudi cinemàtic es pot decidir on s'han de col·locar els sensors de final de carrera per si es volguessin canviar els motors i incorporar-ne uns pas a pas, en aquest cas seria necessari per conèixer la posició del robot després d'un cicle de treball o un moviment aleatori.

Aquests sensors marcarien un punt de referencia o punt zero i a partir d'aquest es podrien contar el passos que s'han de moure per realitzar l'acció desitjada. De tal manera aquesta posició es definirà amb el braç encongit (veure *figura 5.12*), el transmissor fent contacte amb la tapa de les plaques, el braç i l'avantbraç tan a prop com ho permeten les interferències i un dels laterals paral·lel a un dels costats de la “capsa” que conté la bateria. Els sensors s'haurien de col·locar per tant:

1. En el transmissor\_1 a l'alçada que per la posició definida contacte amb la tapa.
2. En l'avantbraç per quan interfereixi amb el braç.
3. En la base\_1 afegint-hi una peça que contacti amb el sensor quan es té els laterals i el costat de la “capsa” de la bateria escollit paral·lels.

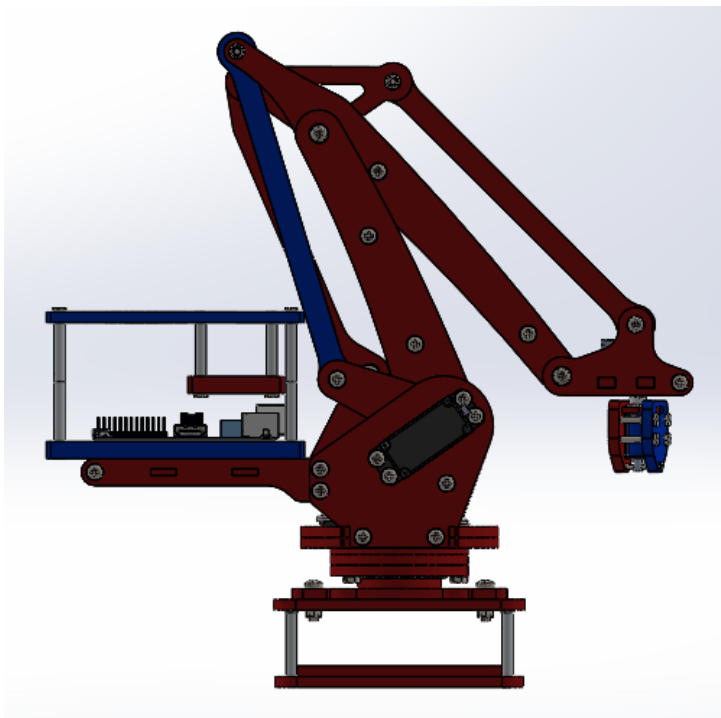


Fig. 5.12 Posició zero del robot. Font pròpia.

## 6. Estudi de resistència del robot

### 6.1. Assaig de l'Àcid Polilàctic

La realització de l'estudi de propietats del material utilitzat per a fer les peces estructurals s'ha fet al Laboratori de LERMA, DRMEE ETSEIB el dia 7 de juny de 2016 a les 15:00h. El tècnic que ha dut a terme l'assaig ha estat el senyor Francesc J. Garcia i Rabella i la màquina utilitzada ha estat la INSTRON model 3366 amb una cèl·lula de càrrega de  $\pm 10$  kN, un error màxim en la desviació lineal menor al 0,1% i una longitud de l'extensòmetre igual a 10 mm (veure *figura 6.1*). La velocitat de l'assaig a estat de 0,1 mm/s i la velocitat d'adquisició de dades 10 mostres/s.

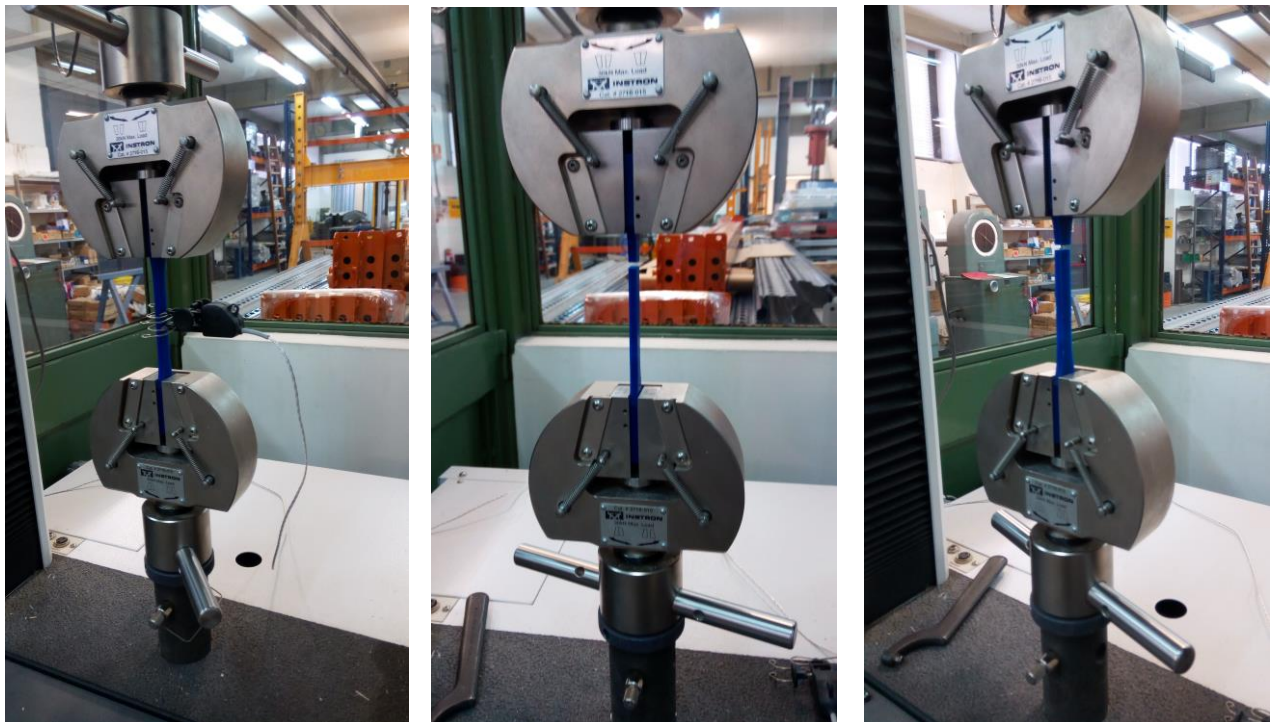
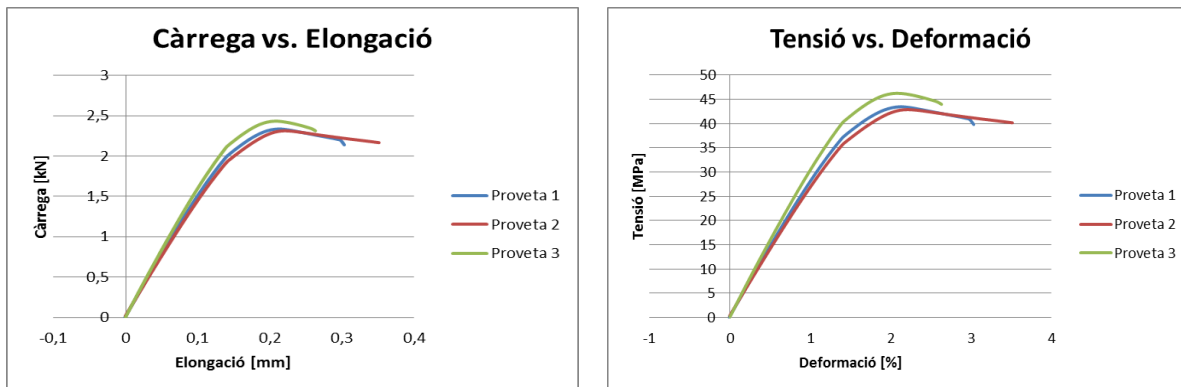
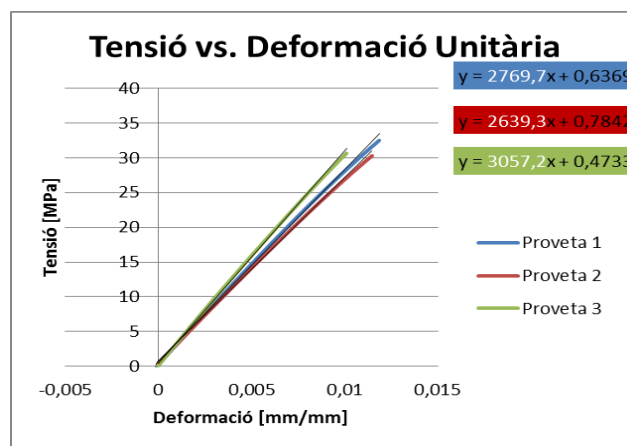


Fig. 6.1. Col·locació de la proveta per a la realització de l'assaig i fallida d'aquesta. Font pròpia.

Els resultats obtinguts han estat els següents:



Gràfic. 6.1. Corbes càrrega vs. elongació i tensió vs. deformació. Font pròpia.



Gràfic. 6.2 . Corbes tensió vs. deformació unitària. Font pròpia.

Els resultats dels gràfics 6.1 i 6.2 es resumeixen en la *taula 6.1*:

Proveta	Amplada [mm]	Gruix [mm]	$\sigma$ màxima [MPa]	$\epsilon$ rotura [mm/mm]	E [MPa]
1	10,30	5,22	43,43562762	0,030452	2769,7
2	10,32	5,23	42,85465611	0,049641	2639,3
3	10,24	5,14	46,21781704	0,02644	3057,2
Mitjana	10,29	5,20	44,17	0,04	2822,07

Taula. 6.1 Propietats del material segons les provetes i valor mitjà. Font pròpia.

Comparant els resultats amb la informació que es disposava al DRMEE ETSEIB (*taula 6.2*) es pot afirmar el fet de fer les peces més compactes augmenten en un 31% la resistència i el mòdul d'elasticitat.



Número Proveta	Nom Proveta	Amplada (mm)	Gruix (mm)	Dist. Inicia mordaces	Massa (g)	Densitat (g/mm <sup>3</sup> )	$\sigma$ màxima (Mpa)	$\epsilon$ rotura (mm/mm)	E (Mpa)	Data Assaig
1	vermell 1	10,30	3,08	79,00	7,9		34,19399	0,0243	2207,237	5-4-13
2	vermell 2	10,23	3,11	79,00	8		34,16627	0,024937	1953,817	5-4-13
3	vermell 3	10,13	3,11	79,00	7,9		34,58639	0,023686	2064,956	5-4-13
4	verd 1	10,19	3,42	79,00	8,5		29,69228	0,023331	1778,562	9-4-13
5	verd 2	10,22	3,42	79,00	8,4		30,24513	0,030775	1890,547	9-4-13
6	verd 3	10,21	3,44	79,00	8,4		29,97289	0,058974	1861,524	9-4-13
7	taronja 1	10,20	3,30	79,00	8,5		35,64765	0,038174	2152,545	9-4-13
8	taronja 2	10,26	3,31	79,00	8,6		34,82536	0,029884	2147,624	9-4-13
9	taronja 3	10,29	3,31	79,00	8,6		34,70503	0,032875	2112,387	9-4-13
10	blanc 1	10,26	3,16	79,00	8,7		33,31637	0,024929	2708,317	9-4-13
11	branc 2	10,35	3,14	79,00	8,9		34,67461	0,022678	2265,758	9-4-13
12	blanc 3	10,19	3,14	79,00	9		34,3649	0,023161	2425,547	9-4-13
13	gris 1	10,37	3,23	79,00	8,5		34,50535	0,03146	2042,299	9-4-13
14	gris 2	10,50	3,22	79,00	8,3		35,01656	0,031953	2226,751	9-4-13
15	gris 3	10,26	3,22	79,00	8,3		34,99661	0,030852	2150,77	9-4-13
16	negre 1	10,28	3,21	79,00	8,5		33,06241	0,02656	2170,267	9-4-13
17	negre 2	10,27	3,18	79,00	8,6		34,21947	0,035777	2142,042	9-4-13
18	negre 3	10,32	3,21	79,00	8,6		33,5066	0,029864	2208,495	9-4-13
Mitjanes					8,455556		33,64988	0,030232	2139,414	

Taula. 6.2 Propietats del material segons les provetes i valor mitjà. Font DRMEE ETSEIB.

## 6.2. Estudi de les tensions

Amb els resultats obtinguts s'ha procedit a estudiar la resistència del robot fent diferents anàlisis estàtiques estructurals en posicions extremes del mecanisme. La posició més crítica és aquella en què el transmissor\_1 està perpendicular a la càrrega com es pot veure en la *figura 6.2*, aquest resultat es podia intuir donar que la perpendicularitat entre càrrega i transmissor\_1 maximitza el moment flector que pateixen els transmissors, les tensions són les següents:

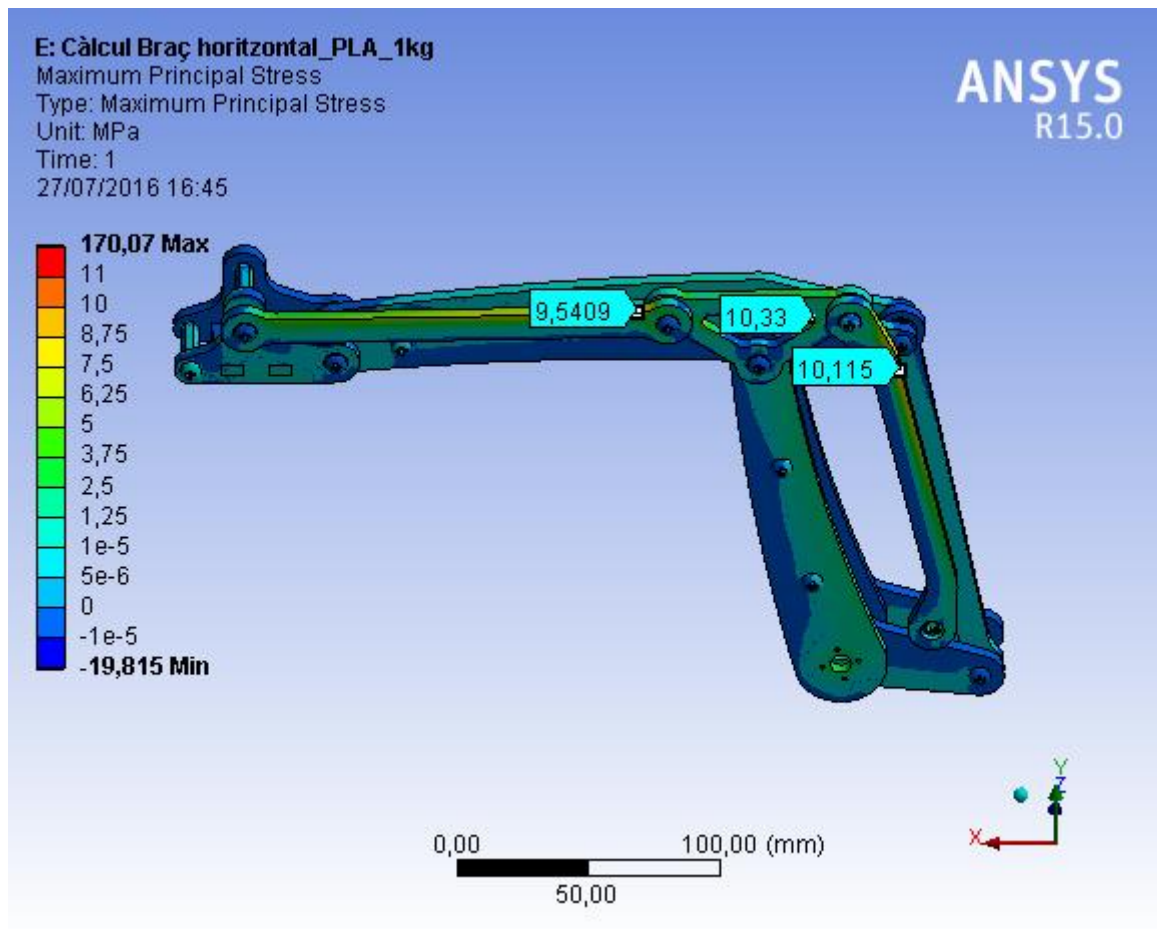


Fig. 6.2. Estudi de les tensions màximes que pateix el robot. Font pròpia.

Amb el braç en aquesta posició i una càrrega d'un quilogram en el capçal, la tensió màxima es troba en el triangle i el transmissor\_2, de manera anecdòtica dir que aquesta última peça és la única que s'ha trencat durant el procés de muntatge (fet que valida empíricament els resultats), el seu valor de tensió és dins el rang (10,1;10,3) MPa, que és menor al seu límit elàstic 44,17 MPa. Com la resistència té un comportament lineal es pot dir que segons aquest estudi i amb un coeficient de seguretat de  $\gamma = 1,5$ ; la càrrega màxima de treball que

pot suportar el robot fet de PLA és 2,86 kg (veure *equació 6.1*) i fallaria amb una càrrega de 4,29 kg, evidentment, aquests valors no s'assoliran per les limitacions que té el solenoide capaç d'atraure pocs grams.

$$\frac{\sigma_{\text{última}}}{\gamma} \geq \sigma_{\text{màxima}} \rightarrow \frac{44,17}{1,5} \geq 29,45 \rightarrow \frac{29,45 \cdot 1}{10,3} = 2,86 \text{ kg} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

També amb el braç en aquesta posició i una càrrega d'un quilogram en el capçal, la tensió mínima es troba en el triangle i el transmissor\_2, el seu valor és dins el rang (-11;-12,5) MPa que en valor absolut és menor al seu límit elàstic 44,17 MPa (veure *figura 6.3*). Com la resistència té un comportament lineal es pot dir que segons aquest estudi i amb un coeficient de seguretat de  $\gamma = 1,5$ ; la càrrega màxima de treball que pot suportar el robot fet de PLA és 2,36 kg (veure *equació 6.2*) i fallaria amb una càrrega de 3,53 kg, evidentment, aquests valors tampoc s'assoliran per les limitacions que té el solenoide capaç d'atraure pocs grams.

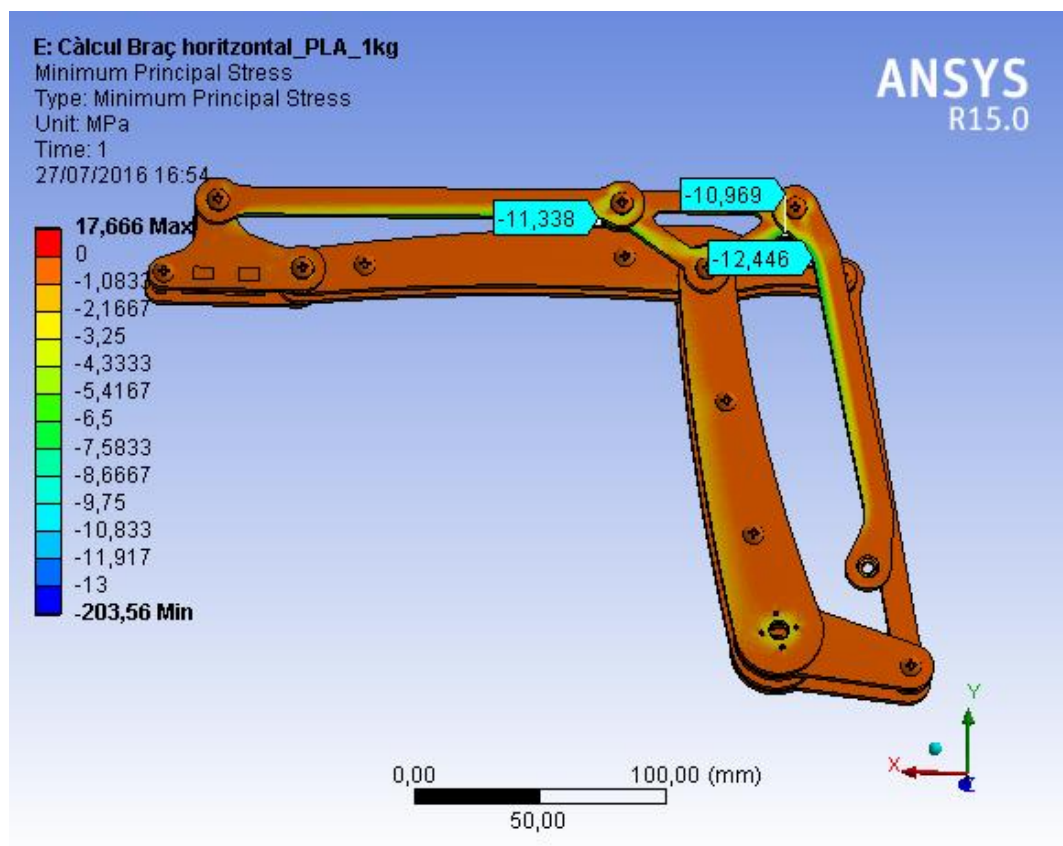


Fig. 6.3. Estudi de les tensions mínimes que pateix el robot. Font pròpia.

$$\frac{\sigma_{\text{última}}}{\gamma} \geq \sigma_{\text{màxima}} \rightarrow \frac{-44,17}{1,5} \geq -29,45 \rightarrow \frac{-29,45 \cdot 1}{-12,5} = 2,36 \text{ kg} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Amb la hipòtesis de què el material es comporta com a fràgil, isòtrop i simètric segons el criteri de Rankine (criteri de la màxima tensió normal), el material fallaria quan la tensió normal màxima a tracció o compressió ( $\sigma_I$  o  $\sigma_{III}$ ) superaria el valor límit obtingut a l'assaig uniaxial corresponent [8]. En el cas que ens ocupa serà per la tensió normal a compressió i als 3,53 kg de càrrega, per tant, el valor màxim que es pot assolir de càrrega respectant el coeficient de seguretat imposat és 2,36 kg.

Finalment, aclarir que els valors extrems que apareixen en les *figures 6.2 i 6.3* fan referència a punts singulars del model que són generats per la resolució del model matemàtic i les condicions de contorn imposades i que, per tant, s'han de negligir tals valors al no representar la realitat.

### 6.3. Estudi de les deformacions

Per altra banda, l'estudi de deformacions posa de manifest que l'elongació màxima que patiria el robot construït amb PLA i amb una càrrega d'un quilogram seria 0,56 mm, com es mostra en la *figura 6.4*, que correspon al braç extens. Valor força insignificant respecte les dimensions de l'àrea de treball i previsible veient el mòdul elàstic del material 2822 MPa. Es podia predir a priori que la posició on es trobaria la elongació màxima del braç seria la estesa donat que pel teorema de Castigliano [9], per exemple, la deformació es calcula amb una integral des del punt fix de la peça a l'extrem lliure i aquesta posició maximitza els límits d'integració.

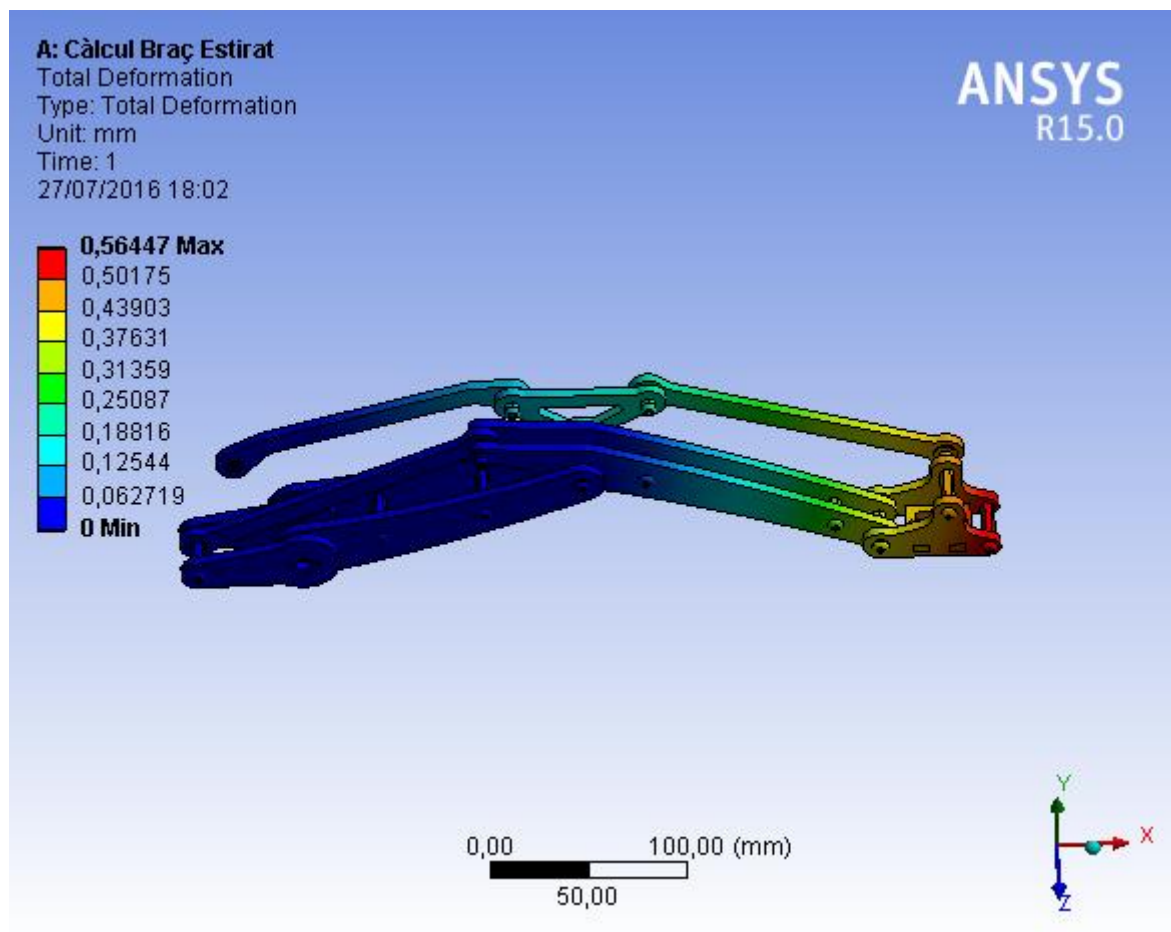


Fig. 6.4. Estudi de les deformacions que pateix el robot. Font pròpia.

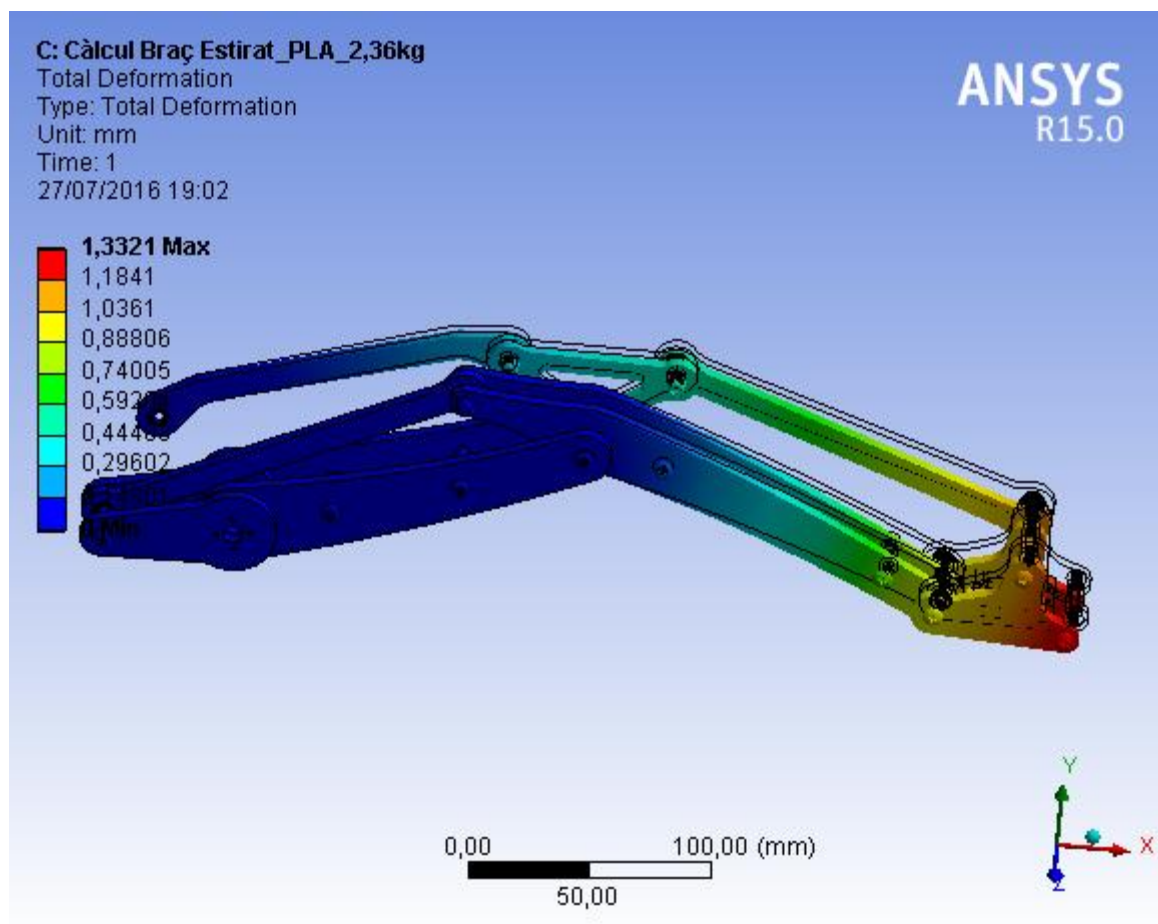


Fig. 6.5. Estudi de les deformacions que pateix el robot amb la càrrega màxima de treball. Font pròpia.

En l'estudi de les deformacions el cas que té més interès és en el que la càrrega té el seu valor màxim i correspon a la *figura 6.5*. Es pot veure que en aquest cas el desplaçament màxim ja no és tant negligible 1,33 mm, però tenint en compte l'àrea de treball, segueix sent baix ( $1,33/300 \cdot 100 = 0,44\%$ ).



## 6.4. Altres materials

Els mateixos estudis s'han realitzat en altres materials per tal de conèixer el comportament del mecanisme si es volgués realitzar en un altre material.

### 6.4.1. Metacrilat

Referent al metacrilat té una resistència a la tracció de 70 MPa (veure *annex 10.3*) i amb un coeficient de seguretat de  $\gamma = 1,5$ ; la càrrega màxima que pot suportar el robot fet de metacrilat és 3,73 kg (veure *equació 6.3*) i fallaria amb una càrrega de 5,6 kg.

$$\frac{\sigma_{\text{última}}}{\gamma} \geq \sigma_{\text{màxima}} \rightarrow \frac{70}{1,5} \geq 46,67 \rightarrow \frac{46,67 \cdot 1}{12,5} = 3,73 \text{ kg} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

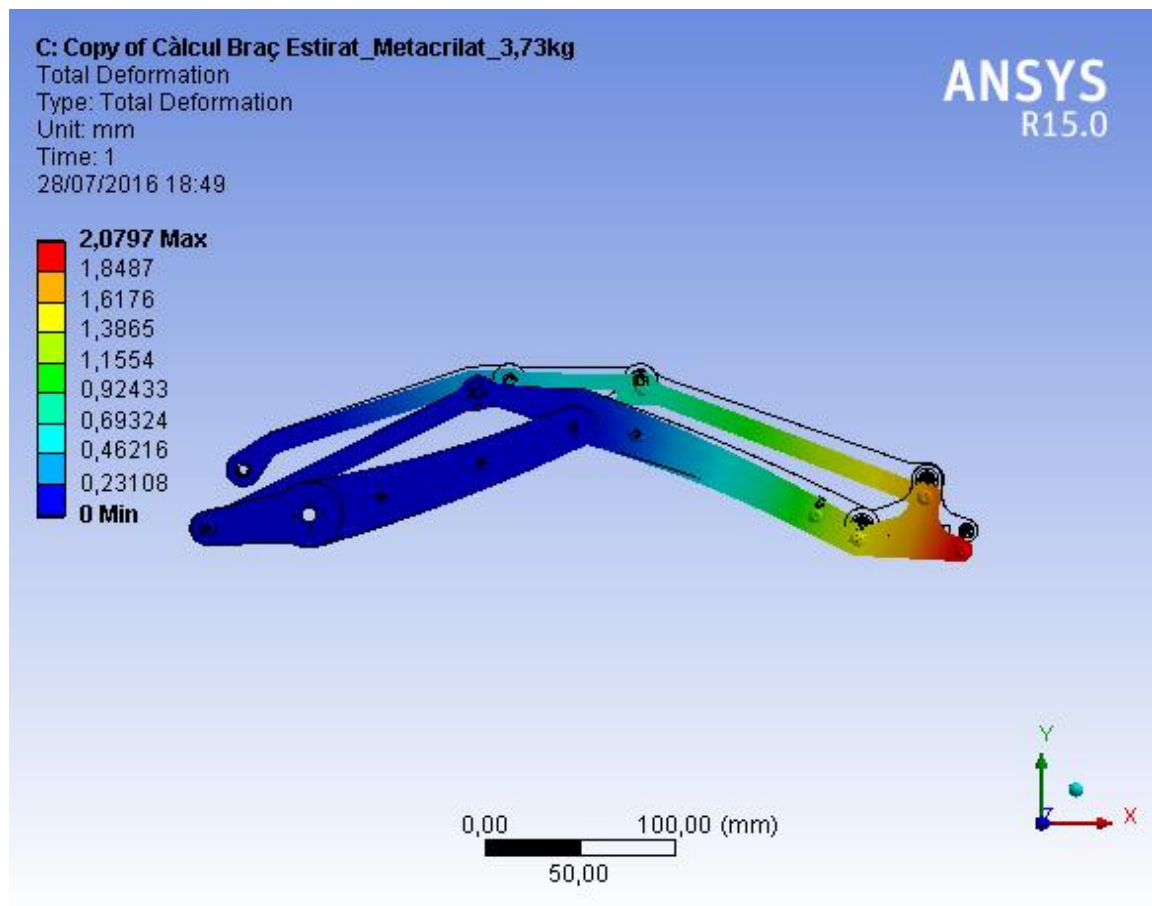


Fig. 6.6. Estudi de les deformacions que pateix el robot amb la càrrega màxima de treball. Font pròpia.

Per altra banda, l'estudi de deformacions posa de manifest que l'elongació màxima que patiria el robot construït amb metacrilat i amb una càrrega límit de treball (3,73 kg) seria 2,08 mm com es mostra en la *figura 6.6*. Valor força insignificant respecte les dimensions de l'àrea de treball ( $2,08/300 \cdot 100 = 0,7\%$ ) i previsible veient el mòdul elàstic del material 3000 MPa.

#### 6.4.2. Acer Inoxidable

Referent a l'acer inoxidable té una resistència a la tracció de 207 MPa (segons els valors estàndards proporcionat en l'Ansys 15.0) i amb un coeficient de seguretat de  $\gamma = 1,5$ ; la càrrega màxima que pot suportar el robot fet d'acer inoxidable és 11,04 kg (veure *equació 6.4*) i fallaria amb una càrrega de 16,56 kg. Cal suposar que la resta de components mecànics es dimensionarien per tal càrrega per tal que el punt de fallida no fos un d'aquests.

$$\frac{\sigma_{\text{última}}}{\gamma} \geq \sigma_{\text{màxima}} \rightarrow \frac{207}{1,5} \geq 138 \rightarrow \frac{138 \cdot 1}{12,5} = 11,04 \text{ kg} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Per altra banda, l'estudi de deformacions posa de manifest que l'elongació màxima que patiria el robot construït amb acer inoxidable i amb una càrrega límit de treball (11,04 kg) seria 5,82 mm com es mostra en la *figura 6.7*. Valor que ja s'hauria de tenir en consideració respecte les dimensions de l'àrea de treball ( $5,82/300 \cdot 100 = 1,94\%$ ).



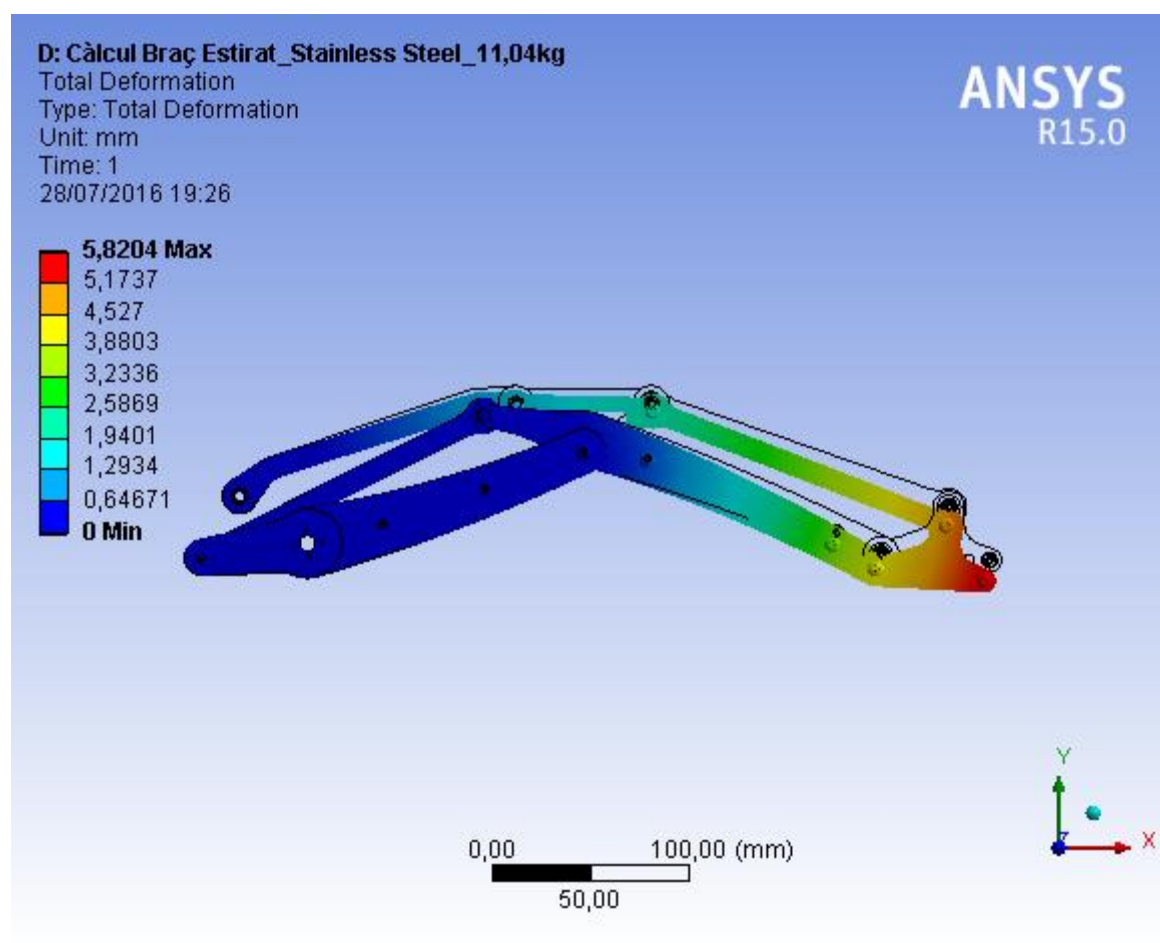


Fig. 6.7. Estudi de les deformacions que pateix el robot amb la càrrega màxima de treball. Font pròpia.



## 7. Muntatge de l'artefacte

### 7.1. Escandall

S'ha generat un escandall de la part mecànica de l'artefacte a mesura que es construïa. Aquests escandall també inclou els servomotors i els sensors finals de carrera. Per tal de facilitar una posterior reproducció del procés de construcció, s'han codificat els elements amb el codi del proveïdor exceptuant els cargols, que amb la mètrica i la llargada de la rosca, ja queden ben definits.

Els codis que s'han posat a les peces impreses s'han definit de manera que es pugui saber quantes unitats se'n necessiten i la part on estan col·locades en l'artefacte, així doncs el codi es genera de la següent manera:

**PI3DX<sub>3</sub>X<sub>2</sub>X<sub>1</sub>X<sub>0</sub>**

**PI3D** seria Peça Impresa en 3D,

**X<sub>3</sub>** seria 1 si formes part del capçal, 2 del braç, 3 de la bancada o 4 del porta-plaques.

**X<sub>2</sub>** seria el nombre de peces que es necessiten d'aquell disseny 1,2,3...

**X<sub>1</sub>X<sub>0</sub>** serien dos nombres per diferenciar els diferents dissenys d'una mateixa part així la peça CAPÇAL\_3 té 03 i la peça CAPÇAL\_1 00.

DESCRIPCIÓ	CODI	QUANTITAT	COST/UNITAT (AMB IVA)
PECES IMPRESSIÓ 3D			
BASE_SERVO_CAPÇAL	PI3D1101	1	0,435
CAPÇAL_3	PI3D1103	1	0,195
CAPÇAL_1	PI3D1200	2	1
CAPÇAL_2	PI3D1202	2	0,69
TRANSMISSOR_2	PI3D2100	1	1,4
TRIANGLE	PI3D2101	1	1,2
AVANTBRAÇ	PI3D2202	2	3,5
TRANSMISSOR_1	PI3D2203	2	1,5
BRAÇ	PI3D2204	2	3,5
BIELA	PI3D2205	2	1,4
ACOBADOR	PI3D2206	2	0,4
LATERAL_1	PI3D3100	1	3,609

LATERAL_2	PI3D3101	1	2,9325
BASE_1	PI3D3102	1	6,3495
BASE_SERVO_360_1	PI3D3103	1	3,207
BASE_SERVO_360_2	PI3D3104	1	3,072
ACOBLLADOR_SUPERIOR_2	PI3D3105	1	0,366
ACOBLLADOR_SUPERIOR_1	PI3D3106	1	0,648
ACOBLLADOR_INFERIOR_2	PI3D3107	1	0,261
ACOBLLADOR_INFERIOR_1	PI3D3108	1	0,609
ACOBLLADOR_BASE_SERVO_2	PI3D3109	1	2,4375
ACOBLLADOR_BASE_SERVO_1	PI3D3110	1	0,654
CARCASSA_BATERIA	PI3D3111	1	7,515
BASE_BATERIA	PI3D3112	1	10,29
UNIO_PLACA_ROBOT	PI3D4100	1	1,86
ADAPTADOR_PLACA	PI3D4101	1	2,82
SUPORT_PLACA	PI3D4102	1	6,195
PLACA_PETITA	PI3D4103	1	2,94
TAPA_PLACA	PI3D4104	1	5,85
SUBJECCIÓ_PLAQUES	PI3D4205	2	1,125
SERVOMOTORS			
SERVO 180º TORQUE = 1KG/CM	T010050	1	7,08
SERVO 180º 55G	EF09011	2	14,52
SERVOMOTOR 360º 3,3KG/CM	T010051	1	15,25
ELECTROIMAN 12V	C6092	1	5,87
SENSORS			
DB1C.B1LC INT.SUBMINI A PALANC	DB1CB1LC	3	1,97
RODAMENTS			
RODAMENT MF84ZZ TECHNOX	MF 84- 22:THX	11	5,929
RODAMENT 61907ZZ CX	61907ZZ	1	4,235
BALONA 4x8x4/12-2	B4x8x4/12-2	11	2,42
SEPARADORS HEXAGONALS			
M4 10mm FEMELLA/FEMELLA	1466853	4	0,42834
M4 15mm FEMELLA/FEMELLA	1467019	1	0,39083
M4 20mm FEMELLA/FEMELLA	1467021	4	0,47916
M4 30mm FEMELLA/FEMELLA	1466774	1	0,67397
M4 30mm MASCLE/FEMELLA	1466838	1	0,68123
M4 50mm FEMELLA/FEMELLA	1466804	2	0,88088
SEPARADORS CILÍNDRICS			
M3 25mm MASCLE/FEMELLA	BT2935	16	0,40051
CARGOLS			
AUTORROSCANT M2 12MM (inclòs servomotors)		8	0
AUTORROSCANT M2 6MM (inclòs servomotors)		5	0
M2 12mm		2	0,010

M2 25mm	1	0,010
M3 6mm (inclòs servomotors)	3	0
M3 10mm	8	0,111
M3 12mm	4	0,010
M3 20mm	4	0,166
M3 25mm	4	0,010
M4 10mm	11	0,052
M4 12mm	8	0,010
M4 16mm	21	0,062
M4 25mm	10	0,010
VOLANDERES		
M3	8	0,010
M4	18	0,010
ROSQUES		
M2	3	0,010
M3	24	0,010
M4	25	0,010
AUTOBLOCANTS M4	3	0,166
PERFILS		
CILÍNDRIC 6mm 40mm	1	0,112

## 7.2 Passos [10]

0. En primera instància s'ha de verificar que totes les mides siguin les que toquen, ja que amb la impressió 3D i més precisament amb la tecnologia FDM hi ha uns errors de cotes força grans, per exemple, és normal trobar un forat de 0,5 mm més petit del que deuria i per on no passarà el cargol pel que s'ha dissenyat. En el cas que això succeeixi, s'haurà de llisar les superfícies o trepanar el forat per fer entrar la peça a toleràncies.

### 1. Materials:

CAPÇAL\_1 (1un.), AVANTBRAÇ (1un.), RODAMENT MF84ZZ (1un.), VALONA 4x8x4/12-2 (1un.), CARGOL M4 16mm (1un.) i SEPARADOR M4 10mm femella/femella (1un.).

#### Procés:

Tal com descriu la figura 7.1 s'ha d'inserir el rodament i la valona pel forat del CAPÇAL\_1 i cargolar el cargol de manera que passi a través del CAPÇAL\_1 i l'AVANTABRAÇ fins entrar al separador.



Fig. 7.1. Primera fase de l'assemblatge.

### 2. Materials:

Resultat de la fase 1, BRAÇ (1un.), RODAMENT MF84ZZ (1un.), VALONA 4x8x4/12-2 (1un.), CARGOL M4 16mm (1un.), CARGOL M4 10mm (5un.), SEPARADOR M4 10mm femella/femella (3un.) i SEPARADOR M4 20mm femella/femella (4un.).



Fig. 7.2. Segona fase de l'assemblatge.

**Procés:**

Tal com descriu la figura 7.2 s'ha d'inserir el rodament i la valona pel forat del BRAÇ i cargolar el cargol M4 16mm a través de braç i del resultat de la primera fase inserint-lo al separador M4 10mm. Seguidament s'han de cargolar els altres quatre cargols M4 10mm del BRAÇ i del CAPÇAL\_1 amb els separadors M4 20mm. Finalment, cargolar els dos cargols M4 10 mm de l'avantbraç amb els seus dos respectius separadors M4 10mm.

**3. Materials:**

Resultat de la fase 2, AVANTBRAÇ (1 un.), TRANSMISSOR\_1 (1un.), RODAMENT MF84ZZ (1un.), VALONA 4x8x4/12-2 (1un.), CARGOL M4 10mm (2un.), CARGOL M4 25mm (1un.), VOLANDERES M4 (4un.) i ROSCA M4 (1un.).

**Procés:**

Al resultat de la segona fase se li dona la volta, s'ha d'inserir el rodament i la valona pel forat del TRANSMISSOR\_1, seguidament es fa passar el cargol M4 25mm a través de l'AVANTBRAÇ, 3 volanderes M4, el TRANSMISSOR\_1, 1 volandera M4 i l'AVANTBRAÇ de la fase 2 on finalment s'ha d'enroscar a la rosca M4. Finalment com indica la figura 7.3 s'han de cargolar els 2 cargols M4 10mm a través de l'AVANTBRAÇ inserint-se als dos separadors indicats amb una fletxa, de manera que els dos AVANTBRAÇOS quedin paral·lels i en la mateixa posició.

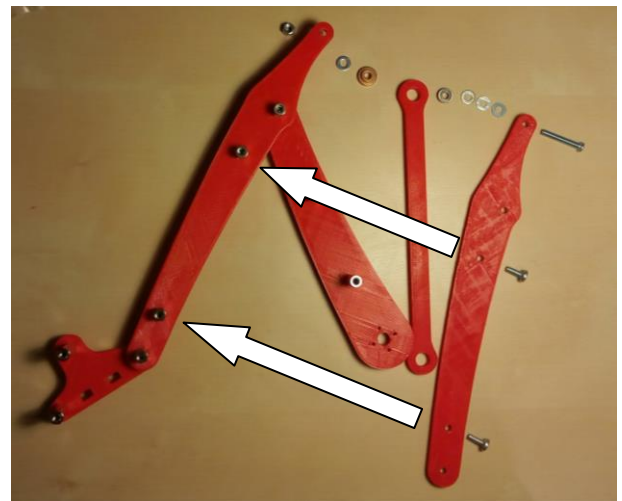


Fig. 7.3. Tercera fase de l'assemblatge.

**4. Materials:**

Resultat de la fase 3, BIELA (1 un.), RODAMENT MF84ZZ (1un.), VALONA 4x8x4/12-2 (1un.), CARGOL M4 16mm (1un.), SEPARADOR M4 15mm



Fig. 7.4. Quarta fase de l'assemblatge.

femella/femella (1un.).

### Procés:

Al resultat de la tercera fase se li dóna la volta, s'ha d'inserir el rodament i la valona pel forat del TRANSMISSOR\_1, seguidament es fa passar el cargol M4 16mm a través de la BIELA, per dins la valona i el rodament i, finalment, es cargola dintre el separador tal com s'indica en la figura 7.4.

### 5. Materials:

Resultat de la fase 4,  
 ACOBLADOR (1un.), BRAÇ  
 (1un.), TRIANGLE (1un.),  
 RODAMENT MF84ZZ (2un.),  
 VALONA 4x8x4/12-2 (2un.),  
 CARGOL M4 25mm (1un),  
 CARGOL AUTORROSCANT M2  
 12MM (4un.), PLAT  
 SERVOMOTOR (SERVO 180°  
 55G) (1un.).



Fig. 7.5. Cinquena fase de l'assemblatge.

### Procés:

Primerament, s'ha d'unir el BRAÇ amb l'ACOBLADOR i el plat del servomotor tal com s'indica en la figura 7.6, és a dir, alineant els forats del BRAÇ, l'ACOBLADOR i el plat del servomotor i fer-hi passar els quatre cargols autorroscants M2 12mm a través dels forats fins que les tres peces quedin ben unides.



Fig. 7.6. Detall de la unió entre braç i acoblador.

Seguidament, s'insereix una valona dintre del braç i a l'altra banda el rodament, es procedeix igualment amb el forat gran del TRIANGLE, com s'indica en la figura 7.5. Se li dóna la volta al resultat de la fase 4 i es fa passar el cargol M4 25mm a través del TRIANGLE i el BRAÇ i es cargola en el separador M4 10mm femella/femella que separa els dos avantbraços de manera que els dos BRAÇOS queden "cara a cara".



## 6. Materials:

Resultat de la fase 5, CARGOL M4 10mm (2un.), VOLANDERES M4 (6un.)

### Procés:

Es col·loquen 3 volanderes M4 sobre els separadors del BRAÇ per tal d'omplir l'espai entre els separadors i l'altre BRAÇ i es fan passar els dos cargols a través del braç que té l'acoblador cargolant-los en els separadors tal com indica la figura 7.7.



Fig. 7.7. Sisena fase de l'assemblatge.

## 7. Materials:

BASE\_SERVO\_CAPÇAL (1un.), SERVO 180° TORQUE = 1KG/CM (1un.), CARGOL M2 12mm (2un.), ROSQUES M2 (2un.).

### Procés:

Es col·loca el servomotor en el rectangle de la BASE\_SERVO\_CAPÇAL i s'enrosquen els cargols M2 12mm amb les rosques M2 travessant els forats del servomotor i de la BASE\_SERVO\_CAPÇAL tal com es mostra en la figura 7.8.



Fig. 7.8. Setena fase de l'assemblatge.

## 8. Materials:

CARGOL AUTORROSCANT M2 6mm (2un.), CAPÇAL\_3 (1un.), PLAT SERVOMOTOR (SERVO 180° TORQUE = 1KG/CM) (1un.).

### Procés:

Tal com s'indica en la figura 7.9 s'uneix el plat del servomotor cargolant els dos cargols autorroscants M2 6mm a través de dos forats del CAPÇAL\_3 i dos forats del plat del servomotor. El plat del servomotor a de recolzar la seva part plana en el CAPÇAL\_3.



Fig. 7.9. Vuitena fase de l'assemblatge.

## 9. Materials:

Resultat de la fase 7, resultat de la fase 8 i CARGOL AUTORROSCANT M2 6mm (1un.).

### Procés:

Es col·loca el plat del servomotor en l'eix de servomotor encaixant-lo correctament i posteriorment, com indica la figura 7.10 s'enrosca el cargol autorroscant en el forat de l'eix del servomotor de manera que queden fixats ambdós resultats.

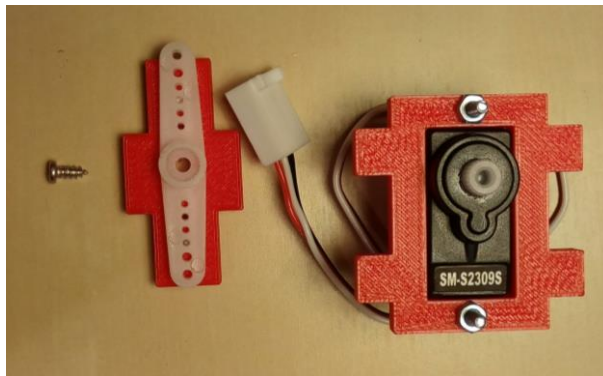


Fig. 7.10. Novena fase de l'assemblatge.

#### 10. Materials:

Resultat de la fase 9, ELECTROIMAN 12V (1un.), CAPÇAL\_2\_A (1un.), CAPÇAL\_2\_B (1un.), CARGOL M3 25mm (4un.), CARGOL M2 25mm (1un.), ROSQUES M3 (4un.), ROSQUES M2 (1un.).

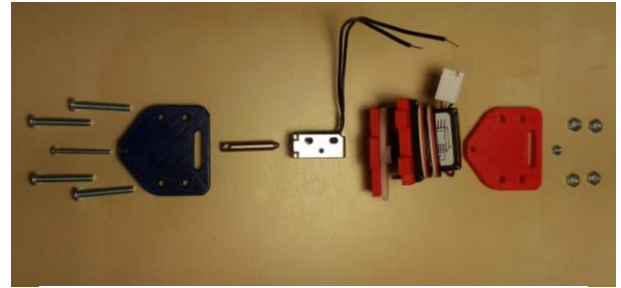


Fig. 7.11. Desena fase de l'assemblatge.

#### Procés:

El resultat de la fase 9 s'encaixa amb la ranura del CAPÇAL\_2\_A i el CAPÇAL\_2\_B de manera que aquests quedin "cara a cara". Seguidament s'introdueix l' ELECTROIMAN 12V perquè quedi entre els forats i el forat de l'èmbol (M2) coincideixi amb el forat del CAPÇAL\_2\_A i el CAPÇAL\_2\_B. Finalment, com indica la figura 7.11 es fan passar els quatre cargols M4 25mm a través dels forats laterals pels CAPÇAL\_2\_A i CAPÇAL\_2\_B i se'ls enrosca les rosques M3, també es fa passar el cargol M2 25mm a través del forat de la punta del CAPÇAL\_2\_A, pel forat de l'èmbol i pel CAPÇAL\_2\_B, cargolant-se a la rosca M2.

#### 11. Materials:

Resultat de la fase 6 i resultat de la fase 10.

#### Procés:

Els sortints de la BASE\_SERVO\_CAPÇAL s'encaixen amb les ranures del CAPÇAL\_1, tal com indica la figura 7.12.



Fig. 7.12. Onzena fase de l'assemblatge.

## 12. Materials:

Resultat de la fase 11,  
 TRANSMISSOR\_2 (1un.),  
 TRANSMISSOR\_1 (1un.),  
 CAPÇAL\_1 (1un.), ROSQUES  
 AUTOBLOCANTS M4 (2un.),  
 VOLANDERES M4 (11 un.),  
 RODAMENT MF84ZZ (4un.),  
 VALONA 4x8x4/12-2 (4un.),  
 CARGOL M4 25mm (1un.),  
 CARGOL M4 16mm (3un.),  
 CARGOL M4 10mm (1un.).

### Procés:

S'insereix una valona dintre del TRANSMISSOR\_2 i a l'altra banda el rodament de manera que la valona quedarà entre el TRIANGLE i el TRANSMISSOR\_2, seguidament es fa passar el cargol M4 16mm a través del TRANSMISSOR\_2, el TRIANGLE i es cargola en la rosca autoblocant M4.

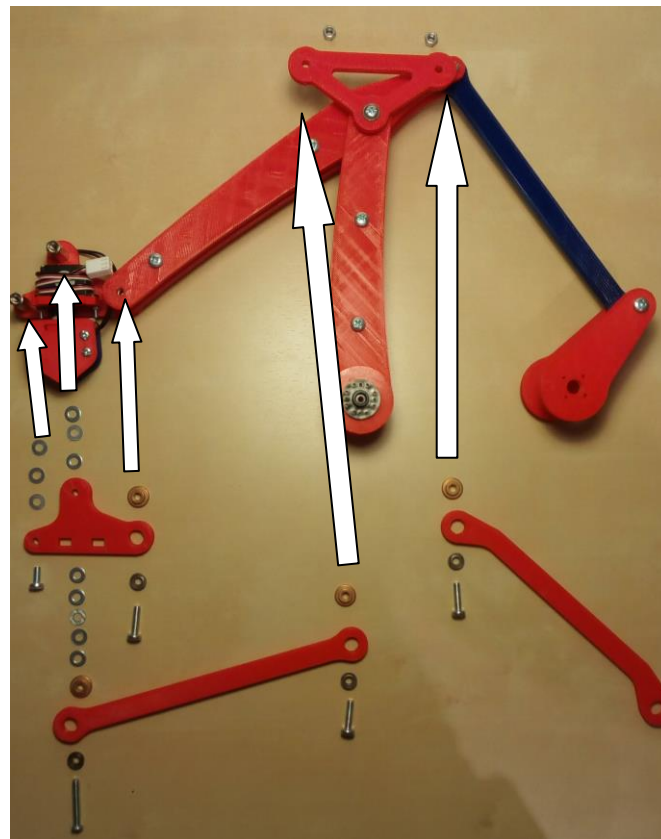


Fig. 7.13. Dotzena fase de l'assemblatge

Després d'aquest pas s'insereix una valona dintre del CAPÇAL\_1 i a l'altra banda el rodament de manera que la valona quedarà entre el CAPÇAL\_1 i l'AVANTBRAÇ. Es col·loquen tres volanderes M4 sobre els separadors que hi ha al CAPÇAL\_1 del resultat de la fase 11 i, delicadament (perquè no es moguin les volanderes) es col·loca el CAPÇAL\_1 de manera que quedi "cara a cara" amb l'altre CAPÇAL\_1. Tal com indica la figura 7.13 es cargola el cargol M4 10mm en el passador més extrem del capçal fent que travessi el CAPÇAL\_1 i les 3 volanderes M4 i es cargola el cargol M4 16mm de manera que passi a través del CAPÇAL\_1 (on hi ha el rodament) i l'AVANTBRAÇ de manera que, finalment, es cargoli en el separador que hi ha entre els dos AVANTBRAÇOS.

S'insereix una valona dintre de cada forat del TRANSMISSOR\_1 i a l'altra banda el rodament de manera que les valones quedaran entre les peces impreses. Posteriorment, es col·loquen 5 volanderes M4 sobre el forat del CAPÇAL\_1 que no té cargol i es fa passar el cargol M4 25mm a través del TRANSMISSOR\_1, les 5

volanderes, el CAPÇAL\_1 i es cargola en el separador M4 16mm. Per finalitzar aquesta fase es fa passar el cargol M4 16mm a través del TRANSMISSOR\_1 i el triangle, com indica la figura 7.13, i es cargola en la rosca autoblocant M4.

### 13. Materials:

UNIÓ\_PLACA\_ROBOT (1un.),  
ADAPTADOR\_PLACA (1un.),  
SUPORT\_PLACA (1un.), CARGOL  
M3 12mm (4un.), ROSQUES M3  
(4un.).

#### Procés:

Tal com s'indica en la figura 7.14, s'apilen la UNIÓ\_PLACA\_ROBOT, l'ADAPTADOR\_PLACA i el SUPORT\_PLACA de manera que coincideixin el quatre forats interiors marcats amb fletxes, seguidament es fan passar els quatre cargols M3 12mm a través d'aquests quatre forats de la UNIÓ\_PLACA\_ROBOT, l'ADAPTADOR\_PLACA i el SUPORT\_PLACA i s'acaba cargolant les quatre rosques M3 de manera que no sobresurten del pla del SUPORT\_PLACA.

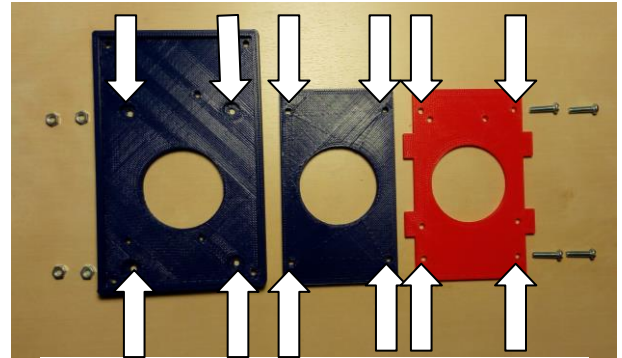


Fig. 7.14. Tretzena fase de l'assemblatge.

### 14. Materials:

Resultat de la fase 13, CARGOL M3  
10mm (4un.), SEPARADOR M3  
25mm mascle/femella (8un.),  
VOLANDERES M3 (4 un.).

#### Procés:

S'enrosquen els separadors dos a dos de manera que s'acaba tenint 4 separadors de 50mm. Seguidament es passa els quatre cargols M3 10mm a través dels quatre forats de les cantonades del SUPORT\_PLACA amb el cap dels cargols situat on hi ha la resta de peces impreses. Finalment, es col·loca una volandera M3 en cada cargol i s'hi enrosca el separador en cada un.

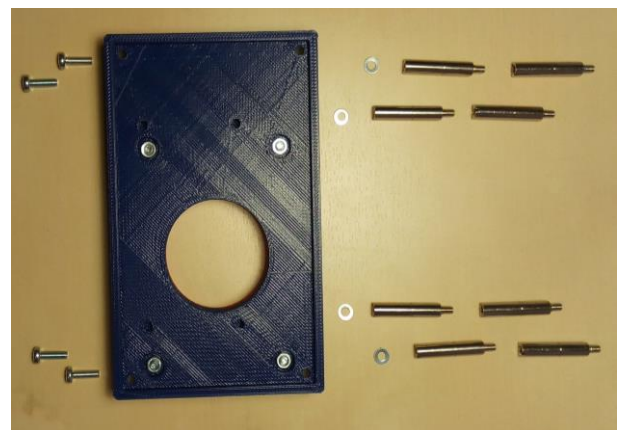


Fig. 7.15. Catorzena fase de l'assemblatge.



**15. Materials:**

PLACA\_PETITA (1un.),  
SEPARADOR M3 25mm  
mascle/femella (4un.), ROSQUES  
M3 (4un.).

**Procés:**

Es col·loca un separador en cada forat, tal com indica la figura 7.16, de manera que la part mascle surt per l'altre part del forat, on s'hi enrosquen les quatre rosques M3.

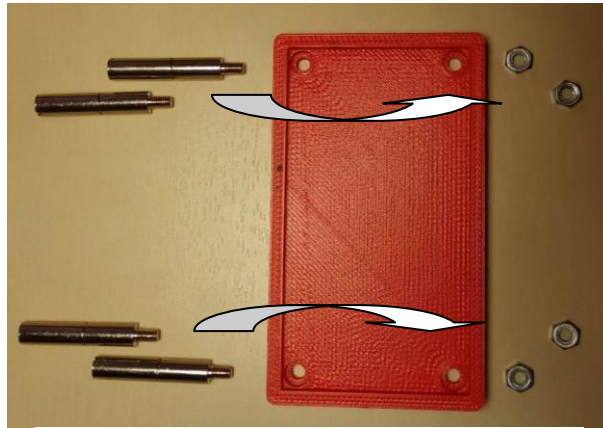


Fig. 7.16. Quinzena fase de l'assemblatge.

**16. Materials:**

Resultat de la fase 15,  
TAPA\_PLACA (1un.), CARGOL M3  
10mm (4un.).

**Procés:**

Es col·loquen els forats de la TAPA\_PLACA indicats amb una fletxa en la figura 7.17 de manera que coincideixin amb els forats dels separadors de la PLACA\_PETITA, seguidament es cargolen en els separadors els cargols M3 10mm travessant la TAPA\_PLACA.

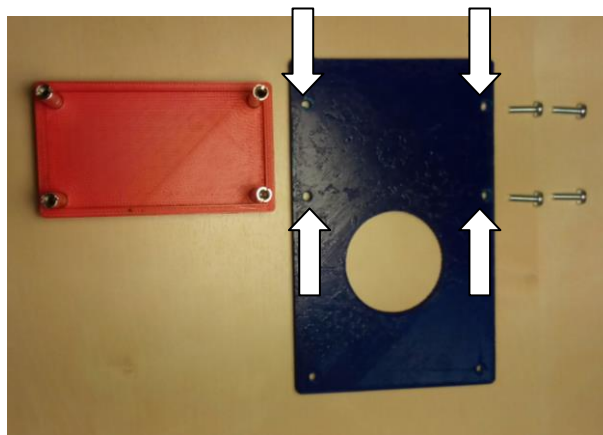


Fig. 7.17. Setzena fase de l'assemblatge.

### 17. Materials:

Resultat de la fase 14, resultat de la fase 16, ROSQUES M3 (4un.).

#### Procés:

Es col·loca el resultat de la fase 16 a sobre del resultat de la fase 14 de manera que la part mascle dels separadors surtin pels forats marcats amb una fletxa en la figura 7.18 i que la PLACA\_PETITA quedi entre la TAPA\_PLACA i el SUPORT\_PLACA. Seguidament, s'enrosquen les quatre rosques M3 als separadors.

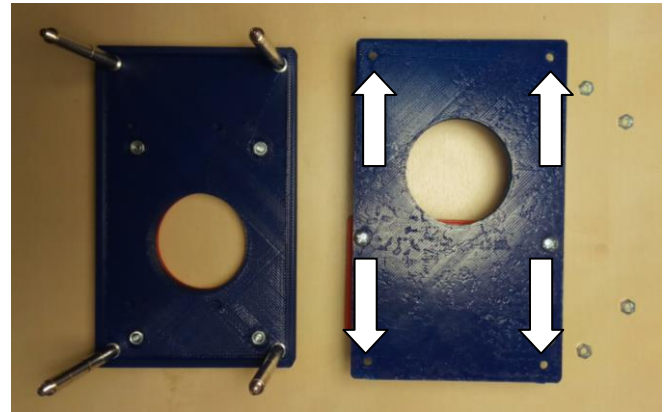


Fig. 7.18. Dissetena fase de l'assemblatge.

### 18. Materials:

LATERAL\_1 (1un.), SERVO 180° 55G (1un.), CARGOL M4 12mm (4un.), ROSQUES M4 (4un.).

#### Procés:

Tal com indica la figura 7.19 es col·loca el servomotor al forat que hi ha en el LATERAL\_1 de manera que l'eix del servomotor estigui en la zona més propera a l'extrem de la peça. Seguidament es fan passar els cargols M4 12mm a través dels forats del servomotor i dels forats del LATERAL\_1, marcats amb fletxes en la figura i se'ls hi enrosquen les rosques M4.

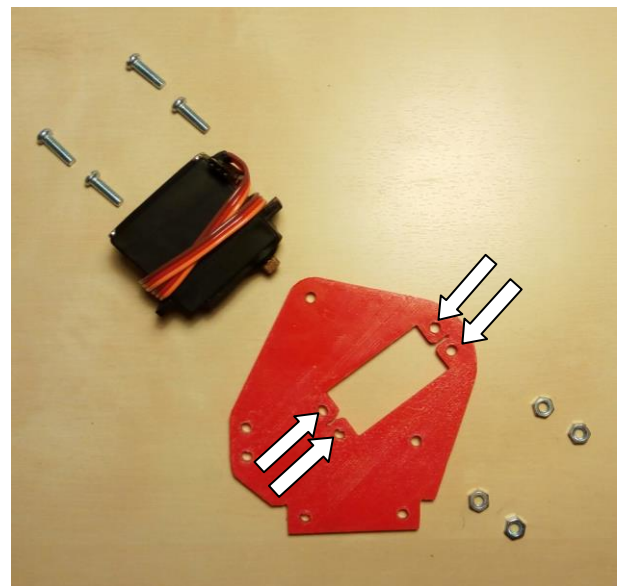


Fig. 7.19. Divuitena fase de l'assemblatge.

## 19. Materials:

LATERAL\_2 (1un.), SERVO 180° 55G (1un.), CARGOL M4 12mm (4un.), ROSQUES M4 (4un.).

### Procés:

Tal com indica la figura 7.20 es col·loca el servomotor al forat que hi ha en el LATERAL\_2 de manera que l'eix del servomotor estigui en la zona més propera a l'extrem de la peça. Seguidament es fan passar els cargols M4 12mm a través dels forats del servomotor i dels forats del LATERAL\_2, marcats amb fletxes en la figura i se'ls hi enrosquen les rosques M4.

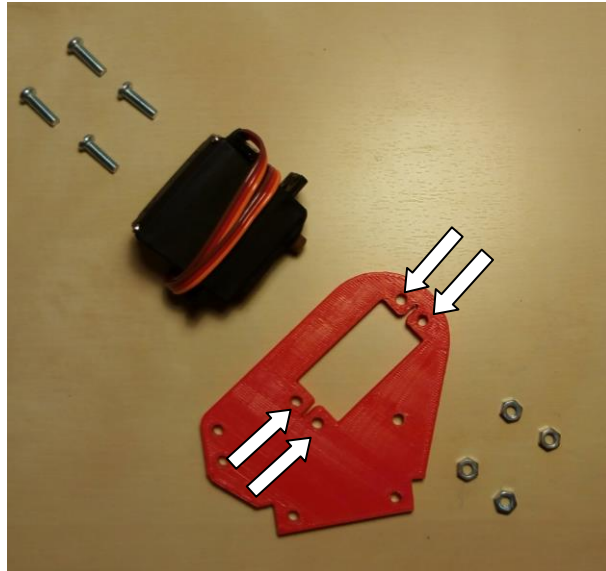


Fig. 7.20. Dinovena fase de l'assemblatge.

## 20. Materials:

Resultat de la fase 18, resultat de la fase 19, SUBJECCIÓ\_PLAQUES (2un.), SEPARADOR M4 50mm femella/femella (2un.), SEPARADOR M4 30mm mascle/femella (1un.), SEPARADOR M4 30mm femella/femella (1un.), VOLANDERES M4 (2 un.), ROSQUES M4 (2un.), CARGOL M4 10mm (1un.), CARGOL M4 16mm (4un.).

### Procés:

Primerament s'uneixen els dos separadors M4 30mm de manera que acabi resultant un separador M4 de 60mm femella/femella. Seguidament, tal com indica la figura 7.21 es travessa

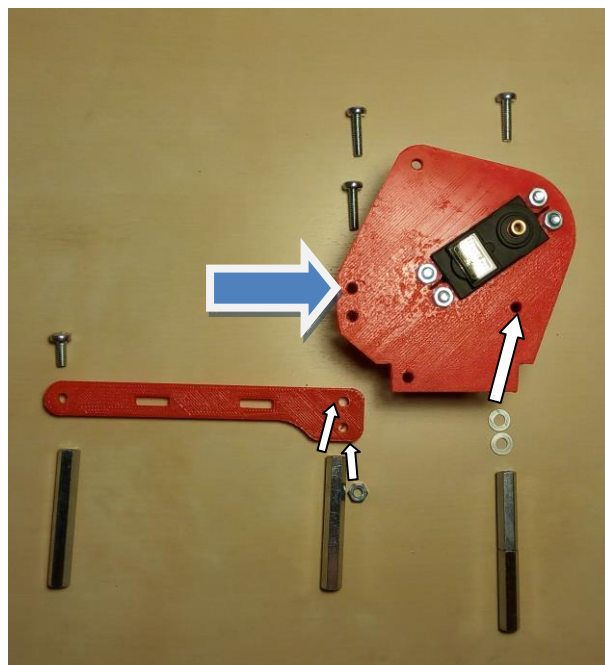


Fig. 7.21. Vintena fase de l'assemblatge.



el resultat de la fase 18 amb un cargol M4 16mm pel forat que hi ha sota el servomotor, posteriorment se li col·loca dues volanderes M4 i se li enrosca el separador M4 60mm que ha resultat de la unió dels dos de 30mm.

El proper pas és afegir els dos separadors M4 50mm en els forats superiors de la SUBJECCIÓ\_PLAQUES, es procedirà d'aquesta manera. Primerament es travessarà la SUBJECCIÓ\_PLAQUES amb un cargol M4 10mm pel forat de l'extrem on només n'hi ha un, aquest es cargolarà amb un separador M4 50mm. Per col·locar el l'últim separador, s'agafarà un cargol M4 16mm que travessarà el forat superior del LATERAL\_1 (marcat amb una fletxa blava en la figura) i el forat superior de la SUBJECCIÓ\_PLAQUES i, finalment, se li enroscarà el separador M4 50mm.

Per finalitzar la fase es travessarà amb un cargol M4 16mm el forat inferior del LATERAL\_1 i el forat inferior de la SUBJECCIÓ\_PLAQUES i, finalment, se li enroscarà una rosca M4. Aquest últim pas s'ha de repetir amb el resultat de la fase 19 i la SUBJECCIÓ\_PLAQUES que resta.

## 21. Materials:

Resultat de la fase 20 (la del LATERAL\_1), resultat de la fase 17.

### Procés:

Tal com s'indica en la figura 7.22 es tracta de inserir els sortints de la UNIÓN\_PLACA\_ROBOT en les ranures de la SUBJECCIÓ\_PLAQUES.

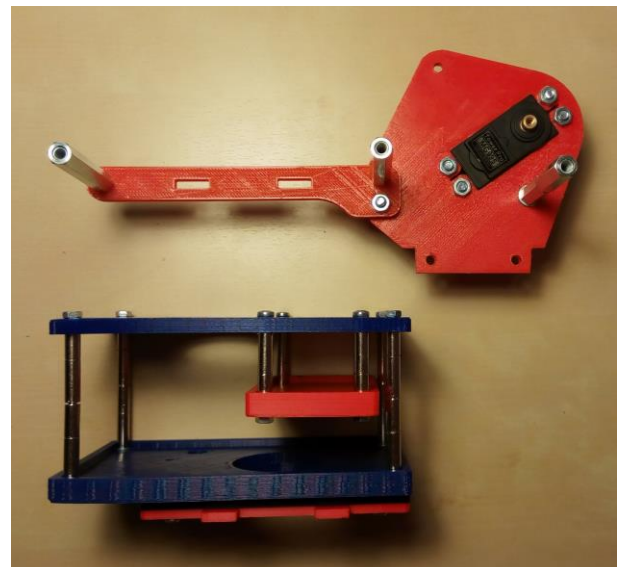


Fig. 7.22. Vint-i-unena fase de l'assemblatge.

## 22. Materials:

Resultat de la fase 21, resultat de la fase 12, RODAMENT MF84ZZ (1un.), VALONA 4x8x4/12-2 (1un.), CARGOL M4 16mm (1un), CARGOL M3 6mm (1un), ROSCA AUTOBLOCANT M4 (1un.).

### Procés:

S'insereix una valona dintre del TRANSMISSOR\_2 i a l'altra banda el rodament de manera que la valona quedarà entre el LATERAL\_1 i el TRANSMISSOR\_2, seguidament es fa passar el cargol M4 16mm a través del TRANSMISSOR\_2, el forat del LATERAL\_1 indicat amb una fletxa blanca en la figura 7.23 i es cargola en la rosca autoblocant M4.

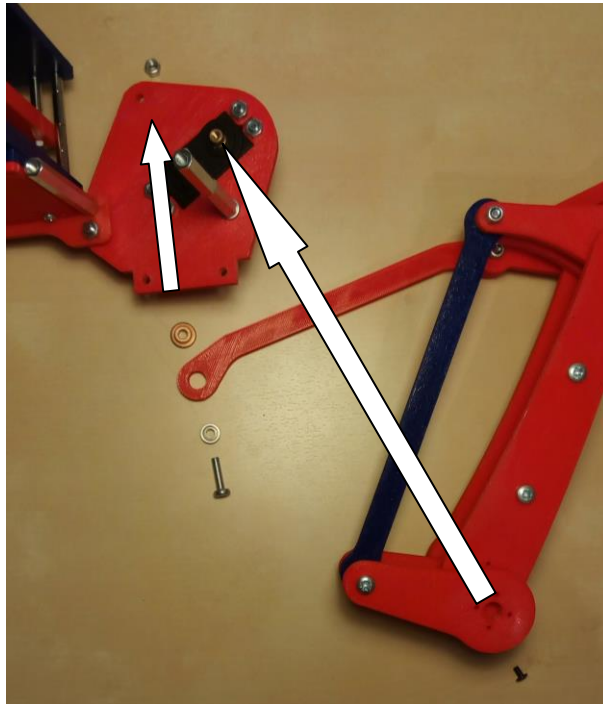


Fig. 7.23. Vint-i-dosena fase de l'assemblatge.

Finalment, s'encaixa el plat del servomotor amb l'eix del servomotor i es cargola el cargol M3 6mm dins de l'eix de manera que queda unit el BRAÇ amb el servomotor.

## 23. Materials:

BIELA (1un.), CARGOL AUTORROSCANT M2 12MM (4un.), PLAT SERVOMOTOR (SERVO 180° 55G) (1un.).

### Procés:

Com indica la figura 7.24, s'ha d'alinejar els forats de la BIELA i el plat del servomotor i fer-hi passar els quatre cargols autorroscants M2 12mm a través dels forats fins



Fig. 7.24. Vint-i-tresena fase de l'assemblatge.

que les dues peces quedin ben unides.

#### 24. **Materials:**

Resultat de la fase 20, resultat de la fase 23, CARGOL M3 6mm (1un.).

#### **Procés:**

Tal com indica la figura 7.25, s'ha d'encaixar el plat del servomotor amb l'eix del servomotor i es cargola el cargol M3 6mm dins de l'eix de manera que queda unida la BIELA amb el servomotor.

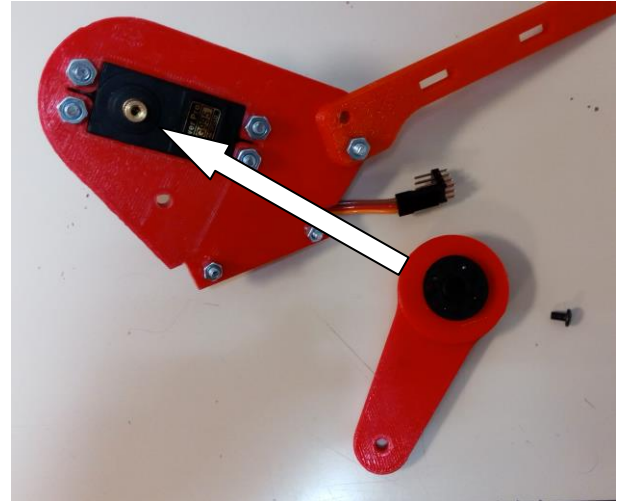


Fig. 7.25. Vint-i-quatrena fase de l'assemblatge.

#### 25. **Materials:**

Resultat de la fase 22, resultat de la fase 24, PERFIL CILÍNDRIC 6mm 40mm (1un.), VOLANDERES M4 (2un.), CARGOL M4 10mm (1un.), CARGOL M4 16mm (2un.), CARGOL M4 25mm (1un.).

#### **Procés:**

On indica la fletxa blava de la figura 7.26 s'insereix el perfil cilíndric 6mm 40mm.

Seguidament, es col·loca el resultat de la fase 24 sobre la de la fase 22, de manera que encaixaran els sortints de la UNIÓ\_PLACA\_ROBOT amb les ranures de la SUBJECCIÓ\_PLAQUES, i es cargola el cargol M4 10mm en el passador que surt del TRANSMISSOR\_1 travessant la biela.

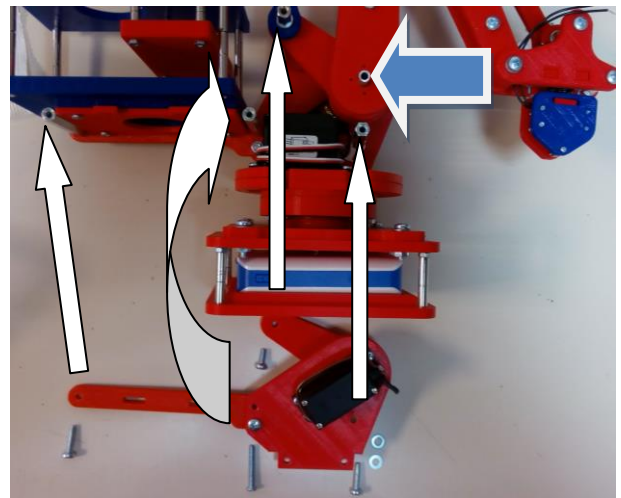


Fig. 7.26. Vint-i-cinquena fase de l'assemblatge (la imatge no correspon a la fase descrita sinó que serveix per descriure la situació dels elements).

Posteriorment, es col·loquen les dos volanderes M4 sobre el separador M4 60mm i es travessa amb el cargol M4 16mm el forat que hi ha sota el servomotor del LATERAL\_1 fins cargolar-lo en el separador.

Finalment, es cargolen el cargol M4 16mm en el separador M4 50mm de l'extrem del robot travessant la SUBJECCIÓ\_PLAQUES i el cargol M4 25mm en el separador M4 50mm travessant la SUBJECCIÓ\_PLAQUES i el LATERAL\_2.

## 26. Materials:

ACOBADOR\_SUPERIOR\_1 (1un.), CARGOL AUTORROSCANT M2 6MM (2un.), PLAT SERVOMOTOR (SERVOMOTOR 360° 3,3KG/CM) (1un.).

### Procés:

Com indica la figura 7.27, s'ha d'alinejar els forats de l'ACOBADOR\_SUPERIOR\_1 i el plat del servomotor i fer-hi passar els dos cargols autorroscants M2 6mm a través dels forats fins que les dues peces quedin ben unides.

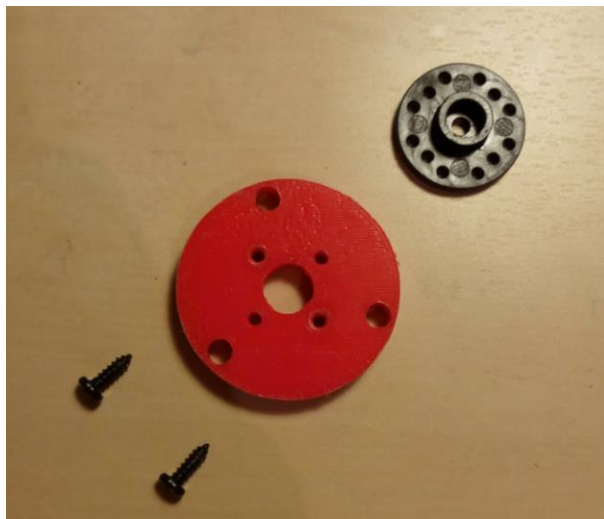


Fig. 7.27. Vint-i-sisena fase de l'assemblatge.

## 27. Materials:

Resultat de la fase 26, ACOBLADOR\_SUPERIOR\_2 (1un.), ACOBLADOR\_INFERIOR\_1 (1un.), ACOBLADOR\_INFERIOR\_2 (1un.), BASE\_1 (1un.), RODAMENT 61907ZZ CX (1un.), CARGOL M4 25mm (3un.), ROSCA M4 (3un.).

### Procés:

S'insereixen, de manera que quedin amb els forats alineats, el resultat de la fase 26 i



Fig. 7.28. Vint-i-setena fase de l'assemblatge.

ACOBADOR\_INFERIOR\_2 dintre del rodament amb el plat del servomotor sortint per una banda. Seguidament es col·loquen, alineant els forats com s'indica en la figura 7.28, l'ACOBADOR\_SUPERIOR\_2 sobre la cara on hi ha el plat del servomotor i l'ACOBADOR\_INFERIOR\_2 i la BASE\_1 sobre la cara contrària. Es fixen tots els components fent passar els tres cargols M4 25mm a través dels forats i cargolant-los en les rosques M4, el resultat ha de ser el presentat en la figura 7.29.



Fig. 7.29. Resultat final de la fase 27.

## 28. Materials:

BASE\_SERVO\_360\_1 (1un.),  
SERVOMOTOR 360° 3,3KG/CM  
(1un.), CARGOL M4 16mm (4un.),  
ROSQUES M4 (4un.).

## Procés:

Es col·loca el servomotor en el forat de la BASE\_SERVO\_360\_1 amb el seu eix en el centre la circumferència que descriu els extrems de la BASE\_SERVO\_360\_1. Seguidament es fixa el servomotor fent passar els quatre cargols M4 16mm a través del servomotor i la BASE\_SERVO\_360 pels forats que es troben marcats amb una fletxa en la figura 7.30 i s'enrosquen a les rosques M4.

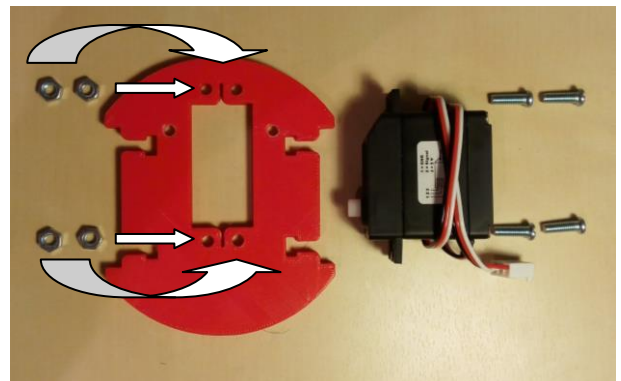


Fig. 7.30. Vint-i-vuitena fase de l'assemblatge.



### 29. Materials:

Resultat fase 28,  
 BASE\_SERVO\_360\_2 (1un.),  
 ACOBLADOR\_BASE\_SERVO\_1  
 (1un.),  
 ACOBLADOR\_BASE\_SERVO\_2  
 (1un.), CARGOL M4 25mm (3un.), ROSCA M4 (3un.).



Fig. 7.31. Vint-i-novena fase de l'assemblatge.

### Procés:

S'apilen en aquest ordre les peces: ACOBLADOR\_BASE\_SERVO\_2, ACOBLADOR\_BASE\_SERVO\_1, BASE\_SERVO\_360\_2 i el resultat fase 28, de manera que queden alineats els forats, tal com s'indica en la figura 7.31. Seguidament, es fan passar els cargols M4 25mm a través dels tres forats i s'acaben enroscant en les roques M4.

### 30. Materials:

Resultat de la fase 27, resultat de la fase 29, CARGOL M3 6mm (1un.).

### Procés:

Tal com indica la figura 7.32, s'ha d'encaixar el plat del servomotor amb l'eix del servomotor i es cargola el cargol M3 6mm dins de l'eix de manera que queden unides ambdues estructures.



Fig. 7.32. Trentena fase de l'assemblatge.

### 31. Materials:

BASE\_BATERIA (1un.),  
 SEPARADOR M3 25mm  
 mascle/femella (4un.), ROSQUES  
 M3 (4un.).

### Procés:

Es col·loca un separador en cada



Fig. 7.33. Trenta-unena fase de l'assemblatge.

forat, tal com indica la figura 7.33, de manera que la part mascle surt per l'altre part del forat, on s'hi enrosquen les quatre rosques M3 que no sobresurten del pla que tocarà amb el terra.

### 32. Materials:

Resultat de la fase 31,  
CARCASSA\_BATERIA (1un.),  
CARGOL M3 10mm (4un.),  
VOLANDERES M3 (4un.).

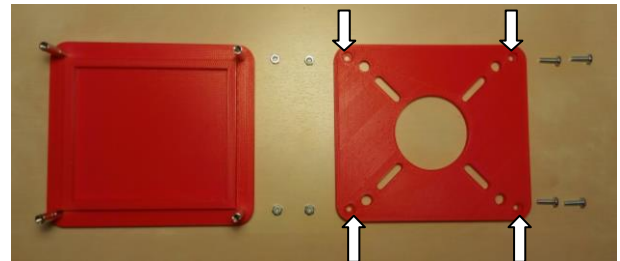


Fig. 7.34. Trenta-dosena fase de l'assemblatge.

Al resultat de la fase 31 de si col·loca sobre cada separador una volandera M3. Amb cura de que no caiguin les volanderes es col·loca la CARCASSA\_BATERIA de manera que coincideixin els forats dels cornes de la peça indicats amb unes fletxes en la figura 7.34 amb els forats dels separadors. Finalment, es cargolen els quatre cargols M4 10mm als separadors, travessant la CARCASSA\_BATERIA.

### 33. Materials:

Resultat de la fase 30, resultat de la fase 32, VOLANDERES M4 (4un.),  
CARGOLS M4 16mm (4un.),  
ROSQUES M4.



Fig. 7.35. Trenta-tresena fase de l'assemblatge (la imatge no correspon a la fase descrita sinó que serveix per descriure la situació dels elements).

### Procés:

El resultat de la fase 30 es col·loca sobre el resultat de la fase 32 fent que coincideixin els forats. Seguidament es fa passar per cada forat un cargol M4 16mm amb una volandera M4 que travessa la BASE\_1 i la CARCASSA\_BATERIA. Finalment, s'enrosquen les rosques M4 a cada cargol.

### 34. Materials:

Resultat de la fase 25, resultat de la fase 33, CARGOLS M3 20mm (4un.), ROSQUES M3 (4un.).

#### Procés:

Es col·loca una rosca M3 en cada forat marcat amb una fletxa en la figura 7.36 de manera que l'eix del forat quedi perpendicular a la normal del pla de terra.

Seguidament, es col·loca el resultat de la fase 25 sobre el resultat de la fase 33 de manera que els forats que hi ha a la part inferior de les parts LATERAL\_1 i part LATERAL\_2 estiguin alineats amb els de les rosques.

Finalment es cargolen els cargols M3 20mm en les rosques M3, travessant els laterals del resultat de la fase 25.

**Consell:** Afluixar els cargols que estan cargolats en els separadors M4 de les parts LATERAL\_1 i LATERAL\_2 perquè sigui més fàcil el procediment de col·locar el resultat de la fase 25 sobre el resultat de la fase 33.

Ajudar-se d'un tornavis de punta plana per a bloquejar les rosques a l'hora de cargolar els cargols, doncs les rosques poden començar a girar sense deixar que el cargol s'enrosqui correctament.

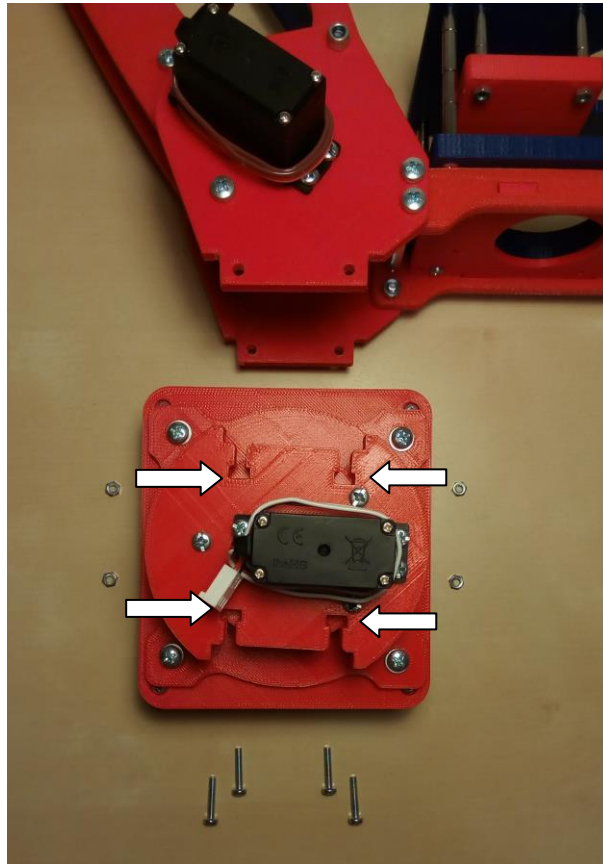


Fig. 7.36. Trenta-quatrena fase de l'assemblatge.



### 7.3. Informació de les impressions 3D

S'ha escollit un sistema de prototipat ràpid com el FDM perquè juntament amb els sistemes de SLS i SLA estan revolucionant actualment el món de la indústria, podent-se parlar de casos de manufactura ràpida utilitzant aquestes tecnologies.

En aquest projecte se centrarà l'atenció en el sistema FDM que es pot utilitzar en l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona a l'aula RepRap. El material en què s'han fet les peces és el PLA i s'ha buscat la major capacitat de càrrega pel mecanisme i per tant s'han fet totes les peces estructurals massisses.

Respecte el servei que presenta l'aula RepRap es voldrien destacar dos punts millorables en el seu tractament:

1. El cost de prototipat es calcula basant-se únicament en el volum total de la peça quan, en realitat, per a ser més exactes s'hauria de calcular mitjançant el total de massa que costa fer la peça i el temps per a fer-la. Il·lustrant-ho amb un exemple es veu clar aquest fet, es posa per cas la TAPA\_PLACA que per els seus requeriments mecànics pot fer-se amb un interior no massís, el preu que tindrà serà igual tant si la peça és buida com massissa quan realment el cost serà totalment diferent, donat que si la buides la impressora necessitarà menys temps per generar la peça i, evidentment, gastarà menys material. Amb això es pot dir que el preu de cada peça hauria de ser funció de la massa i el temps.
2. Un problema que s'ha presentat en tot el procés constructiu ha estat la disparitat entre el valor real dels forats i el teòric, que per norma són 0,5mm en diàmetre més petits de que haurien de ser aquest fet provoca que s'hagin de repassar tots els forats posteriorment a la seva construcció o que en el disseny es sobredimensionin. Una proposta de resolució del problema seria la que ja es dur a terme en màquines de més alta qualitat com les de SLA d'EnvisionTec, on es construeixen unes peces de calibració que se'ls coneix les dimensions i a partir de les mesures reals de la peça feta es calcula un factor corrector que s'insereix al programa principal de construcció i minimitza aquest problema. Aquest mètode també seria aplicable a les dimensions total de la peça, no tan sols als forats i permetrien minorar les contraccions/expansions dels diferents materials.

Per finalitzar aquest apartat es presenta una taula amb els temps de construcció, el volum de la peça i el cost total que ascendeix a 90,68€ (I.V.A. inclòs) i també s'observa que per realitzar tot el mecanisme amb una sola impressora s'hauria de disposar de 77,93h, és a

dir, uns 3 dies i mig sense parar la màquina i canviant la plataforma de construcció per cada peça per tal de no perdre temps en la seva posta a punt.

DESCRIPCIÓ	CODI	QUANT.	TEMPS/UNITAT [h]	TEMPS TOTAL	VOLUM [cm <sup>3</sup> ]	VOLUM TOTAL [cm <sup>3</sup> ]	COST [€]	COST TOTAL [€]
BASE_SERVO_CAPÇAL	PI3D1101	1	0,50	0,50	2,90	2,90	0,44	0,44
CAPÇAL_3	PI3D1103	1	0,22	0,22	1,30	1,30	0,20	0,20
CAPÇAL_1	PI3D1200	2	1,25	2,50	6,86	13,72	1,00	2,00
CAPÇAL_2 (A/B)	PI3D1202	2	0,57	1,13	4,60	9,20	0,69	1,38
TRANSMISSOR_2	PI3D2100	1	1,72	1,72	9,69	9,69	1,40	1,40
TRIANGLE	PI3D2101	1	1,42	1,42	7,65	7,65	1,20	1,20
AVANTBRAÇ	PI3D2202	2	3,77	7,53	23,26	46,52	3,50	7,00
TRANSMISSOR_1	PI3D2203	2	1,75	3,50	9,87	19,74	1,50	3,00
BRAÇ	PI3D2204	2	3,75	7,50	23,06	46,12	3,50	7,00
BIELA	PI3D2205	2	1,60	3,20	9,37	18,74	1,40	2,80
ACOBADOR	PI3D2106	1	0,50	0,50	2,72	2,72	0,40	0,40
LATERAL_1	PI3D3100	1	2,95	2,95	24,06	24,06	3,61	3,61
LATERAL_2	PI3D3101	1	2,48	2,48	19,55	19,55	2,93	2,93
BASE_1	PI3D3102	1	4,77	4,77	42,33	42,33	6,35	6,35
BASE_SERVO_360_1	PI3D3103	1	2,75	2,75	21,38	21,38	3,21	3,21
BASE_SERVO_360_2	PI3D3104	1	2,48	2,48	20,48	20,48	3,07	3,07
ACOBADOR_SUPERIOR_2	PI3D3105	1	0,43	0,43	2,44	2,44	0,37	0,37
ACOBADOR_SUPERIOR_1	PI3D3106	1	0,68	0,68	4,32	4,32	0,65	0,65
ACOBADOR_INFERIOR_2	PI3D3107	1	0,32	0,32	1,74	1,74	0,26	0,26
ACOBADOR_INFERIOR_1	PI3D3108	1	0,65	0,65	4,06	4,06	0,61	0,61
ACOBADOR_BASE_SERVO_2	PI3D3109	1	2,13	2,13	16,25	16,25	2,44	2,44
ACOBADOR_BASE_SERVO_1	PI3D3110	1	0,70	0,70	4,36	4,36	0,65	0,65
CARASSA_BATERIA	PI3D3111	1	5,02	5,02	50,10	50,10	7,52	7,52
BASE_BATERIA	PI3D3112	1	6,55	6,55	68,60	68,60	10,29	10,29
UNIO_PLACA_ROBOT	PI3D4100	1	1,73	1,73	12,40	12,40	1,86	1,86
ADAPTADOR_PLACA	PI3D4101	1	1,98	1,98	18,80	18,80	2,82	2,82
SUPORT_PLACA	PI3D4102	1	4,37	4,37	41,30	41,30	6,20	6,20
PLACA_PETITA	PI3D4103	1	1,95	1,95	19,60	19,60	2,94	2,94
TAPA_PLACA	PI3D4104	1	3,77	3,77	39,00	39,00	5,85	5,85
SUBJECCIÓ_PLAQUES	PI3D4205	2	1,25	2,50	7,50	15,00	1,13	2,25
TOTAL				77,93		604,07		90,68

## 7.4. Costos i proveïdors

Una part important del projecte n'és la seva viabilitat econòmica sense deixar de banda la qualitat dels components que el component, per tant s'haurà de procurar maximitzar la funció  $f(\text{qualitat}, \text{cost}) = \text{qualitat}/\text{cost}$  sempre sense deixar de banda els objectius que s'han proposat a l'inici de utilitzar el comerç de proximitat per a una fàcil cerca dels components en cas de necessitar recanvis o si es vol repetir l'artefacte.

Per tal motiu s'ha realitzar un quadre on es troben els proveïdors als que se'ls ha comprat els components, la quantitat de cada component, el cost/unitat amb l'IVA inclòs i el cost total del nombre de peces que es necessiten.

El cost final de la part mecànica de l'artefacte incloent-hi els servomotors i els sensors finals de carrera ha estat 268,94 € que desgravant l'IVA aquesta xifra disminuiria fins als 212,46 €. El model original de metall de UFactory té un preu de 330 \$, que a 14/06/2016 són 294,44 €, de tal manera quedaria un marge de 81,98 € per a comprar els cables i plaques necessaris per a controlar el sistema. Afegint-hi un AVR ARDUINO UNO REV 3 (20,57 €) comprat a Diotronic, una placa controladora de servomotors uArm Shield (7,14 €) a UFactory i uns 5 € pel cablejat, ens queda un superàvit de 49,27 € respecte el disseny original en igualtat de prestacions.

De totes maneres s'ha d'esmentar dos fets: el primer, UFactory es dedica a la producció d'aquests robots i per tant pot disminuir els costos de producció al comprar grans quantitats de components, tot i això, en contra seva ha de comptabilitzar el cost de la recerca, investigació i desenvolupament del producte.

Segon, el disseny final d'aquest projecte té més prestacions pel que fa referència a la capacitat de la placa, ja que s'ha decidit utilitzar una Raspberry Pi per a poder tenir connexió a internet i poder controlar el dispositiu a distància, a més de dotar-lo d'autonomia pròpia al incorporar-li una bateria que li subministra l'energia necessària pel seu correcte funcionament, tot això implica un sobre-cost que farà que, probablement, es sobrepassi el cost del producte de UFactory.

DESCRIPCIÓ	PROVEÏDOR	QUANT.	COST/UNITAT (AMB IVA)	TOTAL
PECES IMPRESSIÓ 3D				
BASE_SERVO_CAPÇAL	REPRAP	1	0,435	0,44
CAPÇAL_3	REPRAP	1	0,195	0,20
CAPÇAL_1	REPRAP	2	1	2,00

CAPÇAL_2	REPRAP	2	0,69	1,38
TRANSMISSOR_2	REPRAP	1	1,4	1,40
TRIANGLE	REPRAP	1	1,2	1,20
AVANTBRAÇ	REPRAP	2	3,5	7,00
TRANSMISSOR_1	REPRAP	2	1,5	3,00
BRAÇ	REPRAP	2	3,5	7,00
BIELA	REPRAP	2	1,4	2,80
ACOBLLADOR	REPRAP	2	0,4	0,80
LATERAL_1	REPRAP	1	3,609	3,61
LATERAL_2	REPRAP	1	2,9325	2,93
BASE_1	REPRAP	1	6,3495	6,35
BASE_SERVO_360_1	REPRAP	1	3,207	3,21
BASE_SERVO_360_2	REPRAP	1	3,072	3,07
ACOBLLADOR_SUPERIOR_2	REPRAP	1	0,366	0,37
ACOBLLADOR_SUPERIOR_1	REPRAP	1	0,648	0,65
ACOBLLADOR_INFERIOR_2	REPRAP	1	0,261	0,26
ACOBLLADOR_INFERIOR_1	REPRAP	1	0,609	0,61
ACOBLLADOR_BASE_SERVO_2	REPRAP	1	2,4375	2,44
ACOBLLADOR_BASE_SERVO_1	REPRAP	1	0,654	0,65
CARCASSA_BATERIA	REPRAP	1	7,515	7,52
BASE_BATERIA	REPRAP	1	10,29	10,29
UNIO_PLACA_ROBOT	REPRAP	1	1,86	1,86
ADAPTADOR_PLACA	REPRAP	1	2,82	2,82
SUPORT_PLACA	REPRAP	1	6,195	6,20
PLACA_PETITA	REPRAP	1	2,94	2,94
TAPA_PLACA	REPRAP	1	5,85	5,85
SUBJECCIÓ_PLAQUES	REPRAP	2	1,125	2,25

## SERVOMOTORS

SERVO 180° TORQUE = 1KG/CM	DIOTRONIC	1	7,08	7,08
SERVO 180° 55G	DIOTRONIC	2	14,52	29,04
SERVOMOTOR 360° 3,3KG/CM	DIOTRONIC	1	15,25	15,25
ELECTROIMAN 12V	DIOTRONIC	1	5,87	5,87

## SENSORS

DB1C.B1LC INT.SUBMINI A				
PALANC	DIOTRONIC	3	1,97	5,92

## RODAMENTS

RODAMENT MF84ZZ TECHNOX	BNP S.A.	11	5,929	65,22
RODAMENT 61907ZZ CX	BNP S.A.	1	4,235	4,24
BALONA 4x8x4/12-2	BNP S.A.	11	2,42	26,62

## SEPARADORS HEXAGONALS

M4 10mm FEMELLA/FEMELLA	FARNELL	4	0,42834	1,71
M4 15mm FEMELLA/FEMELLA	FARNELL	1	0,39083	0,39
M4 20mm FEMELLA/FEMELLA	FARNELL	4	0,47916	1,92
M4 30mm FEMELLA/FEMELLA	FARNELL	1	0,67397	0,67

M4 30mm MASCLE/FEMELLA	FARNELL	1	0,68123	0,68
M4 50mm FEMELLA/FEMELLA	FARNELL	2	0,88088	1,76
SEPARADORS CILÍNDRICS				
M3 25mm MASCLE/FEMELLA	DIOTRONIC	16	0,40051	6,41
CARGOLS				
AUTORROSCANT M2 12MM (inclòs servomotors)		8	0	0,00
AUTORROSCANT M2 6MM (inclòs servomotors)		5	0	0,00
M2 12mm	DIOTRONIC	2	0,010	0,02
M2 25mm	DIOTRONIC	1	0,010	0,01
M3 6mm (inclòs servomotors)		3	0	0,00
M3 10mm	BRICOR (CORTE INGLÉS)	8	0,111	0,88
M3 12mm	DIOTRONIC	4	0,010	0,04
M3 20mm	BRICOR (CORTE INGLÉS)	4	0,166	0,66
M3 25mm	DIOTRONIC	4	0,010	0,04
M4 10mm	BRICOR (CORTE INGLÉS)	11	0,052	0,57
M4 12mm	DIOTRONIC	8	0,010	0,08
M4 16mm	BRICOR (CORTE INGLÉS)	21	0,062	1,30
M4 25mm	DIOTRONIC	10	0,010	0,10
VOLANDERES				
M3	DIOTRONIC	8	0,010	0,08
M4	DIOTRONIC	18	0,010	0,18
ROSQUES				
M2	DIOTRONIC	3	0,010	0,03
M3	DIOTRONIC	24	0,010	0,24
M4	DIOTRONIC	25	0,010	0,25
AUTOBLOCANTS M4	BRICOR (CORTE INGLÉS)	3	0,166	0,50
PERFILS				
CILÍNDRIC 6mm 40mm	BRICOR (CORTE INGLÉS)	1	0,112	0,11
TOTAL				268,94
TOTAL (SENSE IVA)				212,46



## 8. Presa de decisions

Durant la construcció del prototip han sorgit diferents problemàtiques on s'han hagut de prendre decisions diverses.

1. De manera anecdòtica s'ha utilitzat el color vermell i el blau en el material PLA perquè, com es pot observar en la *taula 6.2*, el colorant verd té propietats mecàniques menors. Hi ha dos colors, donat a què es va acabar el material amb colorant vermell i es va decidir construir les que restaven en blau per evitar l'espera del nou material.
2. Es decideix fer les peces estructurals massisses i les que no són pròpiament del braç amb una estructura interna semibuida, per tal de minorar la quantitat de material utilitzat i perquè les peces massisses tenen propietats mecàniques superiors, un 31% més de resistència i de mòdul d'elasticitat.
3. Tot i la premissa d'utilitzar proveïdors locals, s'ha procurat respectar el màxim el disseny original de què es basa aquest treball. Per aquest fet s'ha decidit comprar els separadors via web per mantenir la dimensió dels cargols M4 degut a la dificultat de trobar-los en ferreteries i distribuïdors de la zona, a més de la major resistència que ofereixen aquests cargols a cisalla.
4. Pel motiu anterior i perquè tenen una major qualitat s'han mantingut els models originals de coixinets miniatura, tot i el seu elevat preu i la existència de coixinets més grans de menor preu.





## 9. Proposta de millores

Una vegada finalitzat el projecte hi ha aspectes que es replantegen veient els resultats obtinguts, els que han aparegut són:

1. Utilitzar separadors de mètrica 3, donat que són més usals en les ferreteries locals i els requeriments mecànics que pateixen els cargols que els sostenen són prou baixos perquè els suportin.
2. Utilitzar uns rodaments més grans, tot i la necessitat de modificar les peces, per tal de rebaixar els costos de producció i reduir la dificultat d'adquisició. Una alternativa a aquesta seria la compra dels coixinets miniatura mitjançant internet perquè a data 13 de juliol de 2016 tenen un cost de 90 cèntims d'euro (<http://printhatshit.com/es/mecanica/141-rodamiento-mf84zz.html>) fet que rebaixaria el cost total del mecanisme la quantitat de 43,14€ (IVA i ports inclosos).
3. Després de les conclusions extretes sobre el càlcul del preu de les peces en l'aula RepRap redissenyaria la zona de la bateria i les plaques dotant-los d'una matriu de forats, cosa que rebaixaria el volum total i per tant el preu final.



## Conclusions

Els objectius establerts al principi del document s'han complert satisfactòriament, concretament s'aconsegueix construir un prototip del robot i se'n documenta acuradament el procés seguit, sempre tenint en compte els objectius secundaris imposats.

L'estudi realitzat sobre el robot constitueix una forta base pel coneixement d'aquest model i les seves capacitats, en el cas que finalment s'utilitzés com a material didàctic en alguna assignatura de l'ETSEIB.

Com a resultat de les dificultats en alguns moments del projecte s'han escollit unes resolucions prioritzant alguns objectius, que en algun cas, vist des de la finalització del prototip, s'hagués procedit d'una altre manera i n'ha quedat constància en el capítol 9.

Finalment, aquest projecte ha augmentat la informació que té el DRMEE ETSEIB sobre el PLA, millorant així la informació que es posseeix d'aquest material i podent-la aportar en futurs projectes.



## Agraïments

A en Juan Manuel Moreno Eguílaz per aportar la seva idea com a TFG i per les diferents ajudes i propostes donades durant el transcurs del projecte.

A na Lluïsa Jordi Nebot per l'ajuda i correcció dels aspectes tècnics referents a l'estudi cinemàtic del robot.

A en Francesc Roure Fernández per la informació aportada referent a les propietats del material PLA i la correcció dels aspectes tècnics referents a la resistència del robot.

A en Francesc Joaquim Garcia i Rabella per la seva ajuda en la realització dels assajos del material i permetre l'ús de les instal·lacions.

A tots els professors que han compartit els seus coneixements en el transcurs del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials.



## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] UFACTORY. *UArm, Millions of Possibilities*, UFactory, 2015. [<https://ufactory.cc/en/>, 16 de maig de 2016].
- [2] KICK STARTER. *uArm: Put a Miniature Industrial Robot Arm on Your Desk*,. [<https://www.kickstarter.com/projects/ufactory/uarm-put-a-miniature-industrial-robot-arm-on-your>, 15 de maig de 2016].
- [3] ABB. *IRB 460*. [<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-460>, 15 de maig de 2016].
- [4] ABB. *Press Release's expanded product range set to revolutionize robotic palletizing*, Klas Bengts, 5 abril de 2011.  
[<https://library.e.abb.com/public/a0cc09890087792fc125784d004dd09d/New%20Palletizing%20Products%202011%20Press%20Release.pdf>, 15 de maig de 2016]
- [5] ABB. *IRB 460, Industrial Robot*; Març de 2011.  
[[https://library.e.abb.com/public/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/ROB0206EN\\_A\\_IRB%20460%20data%20sheet.pdf](https://library.e.abb.com/public/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf), 15 de maig de 2016]
- [6] ABB. *PalletPack 460, Function Package*; Octubre 2011.  
[[https://library.e.abb.com/public/7f035104c3b43768c12579370049aadc/ROB0219EN\\_A\\_PalletPack460%20data%20sheet.pdf](https://library.e.abb.com/public/7f035104c3b43768c12579370049aadc/ROB0219EN_A_PalletPack460%20data%20sheet.pdf), 15 de maig de 2016]
- [7] CARDONA FOIX, S. I CLOS COSTA, D. *Teoria de màquines*, Barcelona Edicions UPC, 2009.
- [8] MIQUEL FERRER. *5. Elasticitat lineal, 5.5 Criteris de fallida elàstica*.  
[<http://mmc.etseib.upc.edu/>, 26 de juliol de 2016].
- [9] M. MAGDALENA PASTOR ARTIGUES I FRANCESC ROURE FERNÁNDEZ. *Prismàtic, 6. Desplaçaments (6.1 Mètodes Energètics)*.  
[<http://www.rmee.upc.edu/prismatic/prismatic.html>, 26 de juliol de 2016].
- [10] UFACTORY. *UArm Assembly Instructions v1.2.3*, 2015. [<http://www.docfoc.com/uarm-assembly-instructions-v123>, 27 de desembre de 2016].





## 10. Annex

### 10.1. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson sense restriccions 2D.

```
%Longituds dels mecanismes
l1 = 160;
l2 = 148;
l3 = 54;
l4 = 42;
l5 = 68.81;

%Condicions inicials
q0(1,1) = 0/180*pi;
q0(2,1) = 32.06/180*pi;
q0(3,1) = 350.04/180*pi;
q0(4,1) = 346.26/180*pi;
q = [q0(3,1);q0(4,1)];

%Escombrat angular de 0 a 360° per a Phi1 i Phi2
Phi1 = -0*pi/180:0.01:(360)*pi/180;
Phi2 = -0*pi/180:0.01:(360)*pi/180;

%Creació de la matriu on es guarden les relacions angulars
M = [];

%Creació contador de columnes vàlides d'M
col_mat = 0;

%Escombrat per Phi1
for p1=1:length(Phi1)
    q0(1,1)=Phi1(p1);

    %Escombrat per Phi2
    for p=1:length(Phi2)
        q0(2,1)=Phi2(p);

        %Càlcul inicial del valor de les equacions d'enllaç
        F1 = l2*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
        l3*cos(q0(2,1));
        F2 = l2*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
        l3*sin(q0(2,1));

        %Creació contador anti-divergències
        n = 0;

        %Itera sempre que no s'hagin fet 10 iteracions o el valor de les
        %equacions d'enllaç sigui major a un valor límit
        while(abs(F1) > 0.0005 | abs(F2) > 0.0005) & n<10

            %Càlcul de la matriu Jacobiana
```

```

Thetaq(1,1) = l1*sin(q(1,1));
Thetaq(1,2) = l3*sin(q(2,1));
Thetaq(2,1) = -l1*cos(q(1,1));
Thetaq(2,2) = -l3*cos(q(2,1));

%Inversió matriu jacobiana
InversThetaq = inv(Thetaq);

%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç
F1 = l2*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = l2*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
Theta = [F1;F2];

%Càlcul de l'increment/decrement dels valors inicials de la
%iteració i càlcul dels valors finals de la iteració
deltaq = -InversThetaq*Theta;
q = deltaq+q;

%Modificació dels valors vells pels nous de les variables
%dependents
q(1,1) = mod(q(1,1),2*pi);
q(2,1) = mod(q(2,1),2*pi);

%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç i increment del
%contador anti-bucles
F1 = l2*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = l2*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
n = n+1

end

%Si es troba en una divergència no es fa res, en cas contrari
%s'augmenta la matriu M amb els valors resultants i es calcula i
%plotegen els valors de les coordenades x,y del punt P
if n == 10
    n = 0;
else
    col_mat = col_mat + 1;
    M(:,col_mat)= [q0(1,1);q0(2,1);q(1,1);q(2,1)];
    Px = l2*cos(q0(1,1))+l1*cos(q(2,1))+l4*cos(35*pi/180);
    Py = l2*sin(q0(1,1))+l1*sin(q(2,1));
    plot(Px,Py)
    hold on

    %Es reinicia el contador anti-bucles
    n = 0;
end
end

axis equal
hold off

```

## 10.2. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson amb restriccions 2D.

```
%Longituds dels mecanismes
l1 = 160;
l2 = 148;
l3 = 54;
l4 = 42;
l5 = 68.81;
dx = 34.40;
dy = 24.22;

%Condicions inicials
q0(1,1) = -55/180*pi;
q0(2,1) = -55/180*pi;
q0(3,1) = 350.04/180*pi;
q0(4,1) = -40/180*pi;
q = [q0(3,1);q0(4,1)];

%Escombrat angular dels valors extrems que agafen Phi1 i Phi2
Phi1 = -13*pi/180:0.005:(110)*pi/180;
Phi2 = 8*pi/180:0.005:(188)*pi/180;

%Creació de la matriu on es guarden les relacions angulars
M = [];

%Creació contador de columnes vàlides d'M
col_mat = 0;

%Escombrat per Phi1
for p1=1:length(Phi1)
    q0(1,1)=Phi1(p1);

    %Escombrat per Phi2
    for p=1:length(Phi2)
        q0(2,1)=Phi2(p);

        %Càlcul inicial del valor de les equacions d'enllaç
        F1 = l2*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
        l3*cos(q0(2,1));
        F2 = l2*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
        l3*sin(q0(2,1));

        %Creació contador anti-divergències
        n = 0;

        %Itera sempre que no s'hagin fet 10 iteracions o el valor de les
        %equacions d'enllaç sigui major a un valor límit
        while(abs(F1) > 0.0005 | abs(F2) > 0.0005) & n<10

            %Càlcul de la matriu Jacobiana
            Thetaq(1,1) = l1*sin(q(1,1));
            Thetaq(1,2) = l3*sin(q(2,1));
            Thetaq(2,1) = -l1*cos(q(1,1));
```

```

Thetaq(2,2) = -l3*cos(q(2,1));
%Inversió matriu jacobiana
InversThetaq = inv(Thetaq);
%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç
F1 = 12*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = 12*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
Theta = [F1;F2];
%Càlcul de l'increment/decrement dels valors inicials de la
%iteració i càlcul dels valors finals de la iteració
deltaq = -InversThetaq*Theta;
q = deltaq+q;
%Modificació dels valors vells pels nous de les variables
%dependents
q(1,1) = mod(q(1,1),2*pi);
q(2,1) = mod(q(2,1),2*pi);
%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç i increment del
%contador anti-bucles
F1 = 12*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = 12*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
n = n+1;
end

%Si es troba en una divergència o restricció no fa res, en cas
%contrari s'augmenta la matriu M amb els valors resultants i es
%calcula i dibuixen els valors de les coordenades x,y del punt P
if n == 10 | (q0(2,1)-q0(1,1))<45*pi/180 | ...
(34.43*cos(q(1,1))+54*cos(q0(2,1))<-64.28 &
34.43*sin(q(1,1))+ ...
54*sin(q0(2,1))>52.80) | q(2,1)< 220*pi/180 | ...
q(2,1)< 35*pi/180
n = 0;

else
col_mat = col_mat + 1;
M(:,col_mat)=[q0(1,1);q0(2,1);q(1,1);q(2,1)];
Px = 12*cos(q0(1,1))+l1*cos(q(2,1))+l4*cos(35*pi/180);
Py = 12*sin(q0(1,1))+l1*sin(q(2,1))+l4*sin(35*pi/180);
if Px > 0
plot(Px,Py, 'LineWidth',2)
hold on
end
%Es reinicia el contador anti-bucles
n = 0;
end
end

end
%Es centra la gràfica i es posen títols
ylim([-250,200])
xlim([0,400])
axis equal
xlabel('posició x [mm]')
ylabel('posició y [mm]')
hold off

```

## 10.2. Codi per a la resolució de les equacions d'enllaç geomètriques mitjançant el mètode Newton-Raphson amb restriccions 3D.

```
%Longituds dels mecanismes
l1 = 160;
l2 = 148;
l3 = 54;
l4 = 42;
l5 = 68.81;
dx = 34.40;
dy = 24.22;

%Condicions inicials
q0(1,1) = -55/180*pi;
q0(2,1) = -55/180*pi;
q0(3,1) = 350.04/180*pi;
q0(4,1) = -40/180*pi;
q = [q0(3,1);q0(4,1)];

%Escombrat angular dels valors extrems que agafen Phi1, Phi2 i Phi3
Phi1 = -13*pi/180:0.05:(110)*pi/180;
Phi2 = 8*pi/180:0.05:(188)*pi/180;
Phi3 = 0*pi/180:0.1:(360)*pi/180;

%Creació de la matriu on es guarden les relacions angulars
M = [];

%Creació contador de columnes vàlides d'M
col_mat = 0;

%Escombrat per Phi1
for p1=1:length(Phi1)
    q0(1,1)=Phi1(p1);

    %Escombrat per Phi2
    for p=1:length(Phi2)
        q0(2,1)=Phi2(p);

        %Càlcul inicial del valor de les equacions d'enllaç
        F1 = l2*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
        l3*cos(q0(2,1));
        F2 = l2*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
        l3*sin(q0(2,1));

        %Creació contador anti-divergències
        n = 0;

        %Itera sempre que no s'hagin fet 10 iteracions o el valor de les
        %equacions d'enllaç sigui major a un valor límit
        while(abs(F1) > 0.0005 | abs(F2) > 0.0005) & n<10

            %Càlcul de la matriu Jacobiana
            Thetaq(1,1) = l1*sin(q(1,1));
            Thetaq(1,2) = l3*sin(q(2,1));
```

```

Thetaq(2,1) = -l1*cos(q(1,1));
Thetaq(2,2) = -l3*cos(q(2,1));

%Inversió matriu jacobiana
InversThetaq = inv(Thetaq);

%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç
F1 = 12*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = 12*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
Theta = [F1;F2];

%Càlcul de l'increment/decrement dels valors inicials de la
%iteració i càlcul dels valors finals de la iteració
deltaq = -InversThetaq*Theta;
q = deltaq+q;

%Modificació dels valors vells pels nous de les variables
%dependents
q(1,1) = mod(q(1,1),2*pi);
q(2,1) = mod(q(2,1),2*pi);

%Càlcul del valor de les equacions d'enllaç i increment del
%contador anti-bucles
F1 = 12*cos(q0(1,1))-l3*cos(q(2,1))-l1*cos(q(1,1))-
13*cos(q0(2,1));
F2 = 12*sin(q0(1,1))-l3*sin(q(2,1))-l1*sin(q(1,1))-
13*sin(q0(2,1));
n = n+1;

end

%Si es troba en una divergència o restricció no fa res, en cas
%contrari s'augmenta la matriu M amb els valors resultants i es
%calcula i dibuixen els valors de les coordenades x,y del punt P
if n == 10 | (q0(2,1)-q0(1,1))<43.23*pi/180 | ...
(34.43*cos(q(1,1))+54*cos(q0(2,1))<-64.28 &
34.43*sin(q(1,1))+ ...
54*sin(q0(2,1))>52.80) | q(2,1)< 35*pi/180 | q(2,1)<
220*pi/180
    %Es reinicia el contador anti-bucles
    n = 0;

else
    col_mat = col_mat + 1;
    M(:,col_mat)=[q0(1,1);q0(2,1);q(1,1);q(2,1)];

    %Es reinicia el contador anti-bucles
    n = 0;
end

end

%Escombrat per Phil
for pz=1:length(Phiz)
    phiz = Phiz(pz);

```

```
for pm = 1:length(M(1,:))
    Px = 12*cos(M(1,pm))+11*cos(M(4,pm))+14*cos(35*pi/180)+20.73;
    Py = 12*sin(M(1,pm))+11*sin(M(4,pm))+14*sin(35*pi/180)+20.73;
    if Px > 0
        Px1 = Px*cos(phiz);
        Px2 = Px*sin(phiz);
        plot3(Px1,Px2,Py, 'LineWidth',4)
        hold on
    end
end

end

%Es centra la gràfica i es posen títols
axis equal
xlabel('posició x [mm]')
ylabel('posició y [mm]')
zlabel('posició z [mm]')
hold off
```

## 10.3. Especificacions tècniques del metacrilat



BARCELONA Aragó, 270 08007 Tel. 933 932 410 Fax. 932 160 048

GIRONA C/ Séquia, 20 17001 Tel. 972 204 062 Fax. 972 205 522

SANT ADRIÀ DE BESÒS C/ Rafael de Casanova, 1 08930 Tel. 933 112 811 Fax. 933 112 811

L' HOSPITALET DE LLOBREGAT C/ Barcelona, 29-33 08901 Tel. 93 33 33 33 Fax. 932 174 144

MAGATZEM P/ Coll de la manya C/ Cal Ros dels Ocells, 19 08400 Granollers Tel. 938 401 100 Fax. 938 403 856



### Metacrilato de colada

PO 01 - Tabla de propiedades

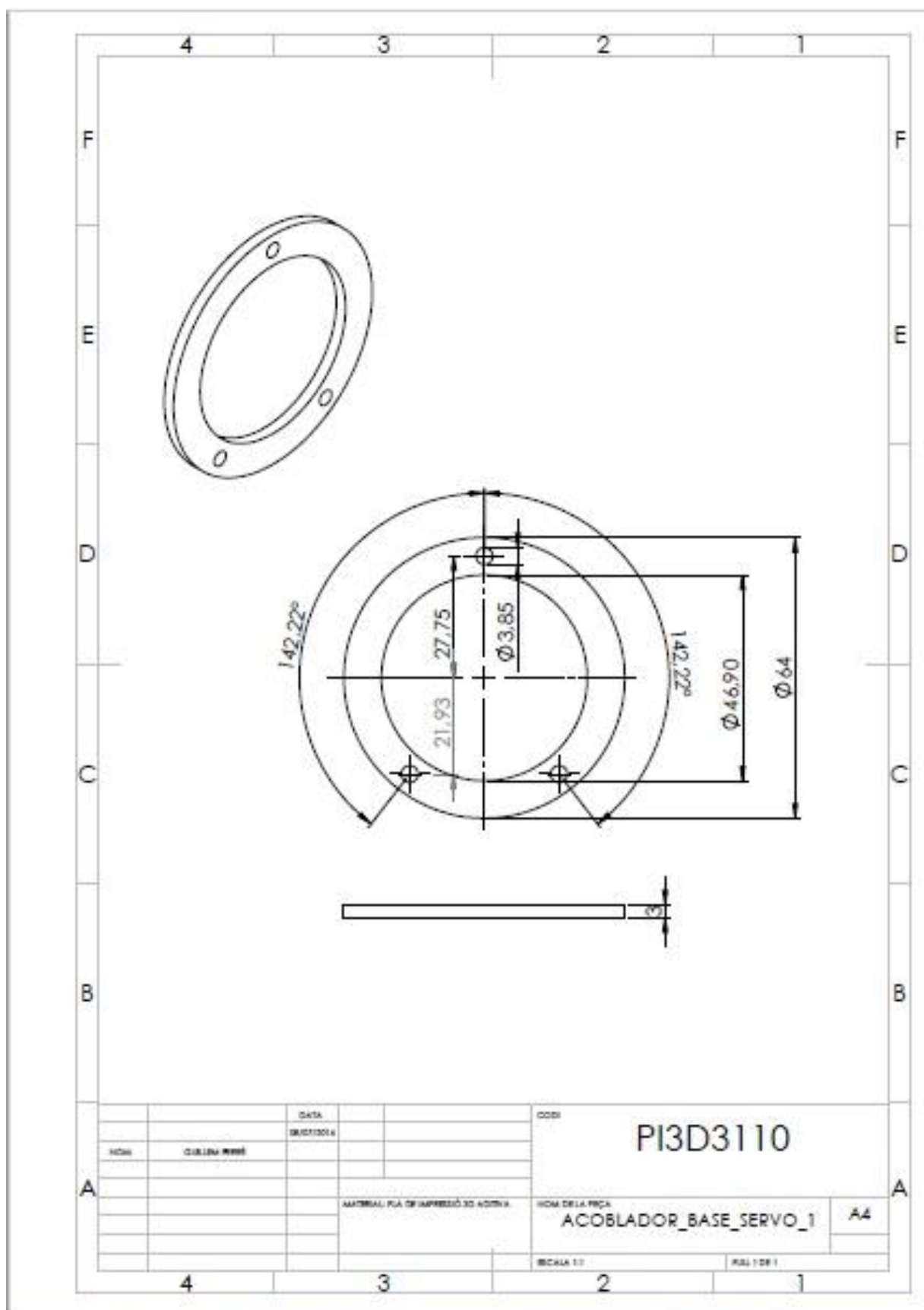
Propiedad	Valor	Unidades	Método de ensayo
<b>Generales</b>			
Densidad <sup>(1)</sup>	1,19	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1182, Método A,C o D
Absorción de agua	0,50 <sup>(2)</sup>	%	UNE-EN ISO 62, Método 1 (24h, 23°C)
Poder calorífico (760mm y 0°C)	1,255	kJ/Kg °C	-
Temperatura de inflamación T <sub>i</sub>	300	°C	ASTM-1929
Temperatura de autoinflamación T <sub>ai</sub>	430	°C	
Reacción al fuego por radiación	M4	-	UNE-23-727
<b>Térmicas</b>			
Calor específico	0,35	cal/g °C	-
Conductivida térmica	4,5 x 10 <sup>-4</sup>	cal cm/cm <sup>2</sup> seg °C	DIN52612
Coefficiente de transmisión térmica K 3mm	5,50	kcal/m <sup>2</sup> h °C	-
Temperatura de reblandecimiento VICAT	118	°C	UNE-EN ISO 306 Método A50
Temperatura de flexión bajo carga	98	°C	UNE-EN ISO 75/2-A
Temperatura de moldeado aconsejable	150 - 170	°C	-
Temperatura máxima de servicio	80 - 85	°C	IRPEN
Hoja plana	75 - 80	°C	
Pieza moldeada			
Coefficiente de dilatación lineal	7 x 10 <sup>-5</sup>	K <sup>-1</sup>	ISO 11359-2
Variaciones dimensionales a elevada temperatura (Contracción)	Max. 2,5	%	UNE-EN ISO 7823-1 Anexo A
<b>Mecánicas</b>			
Resistencia a la tracción	Min. 70	Mpa	UNE-EN ISO 527-2/1B/5
Módulo de elasticidad en tracción	Min. 3000		
Deformación en tracción	Min. 4	%	
Resistencia a la flexión	110	Mpa	UNE-EN ISO 178
Resistencia de impacto Charpy (probeta no entallada)	Min. 13	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1 Fu
Dureza Rockwell	100	Escala M	UNE-EN ISO 2039-2
Coefficiente de rozamiento o fricción	0,80	°C	IRPEN
PMMA / PMMA			
PMMA / Acero	0,48 - 0,55		

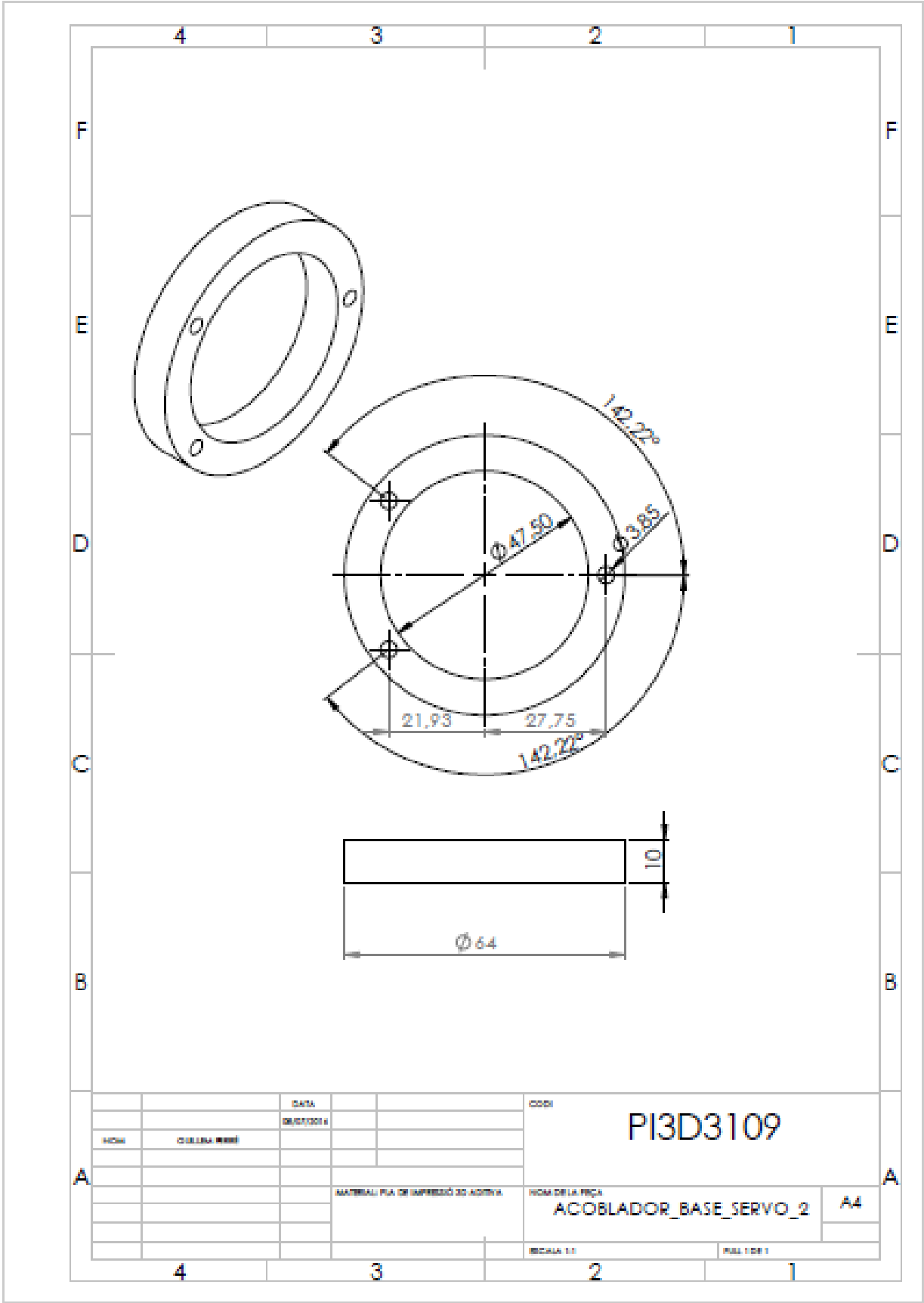


## 10.4. Plànols

En aquest apartat de l'annex s'hi adjunten els plànols de les peces dissenyades per a ser impreses mitjançant la tecnologia FDM:

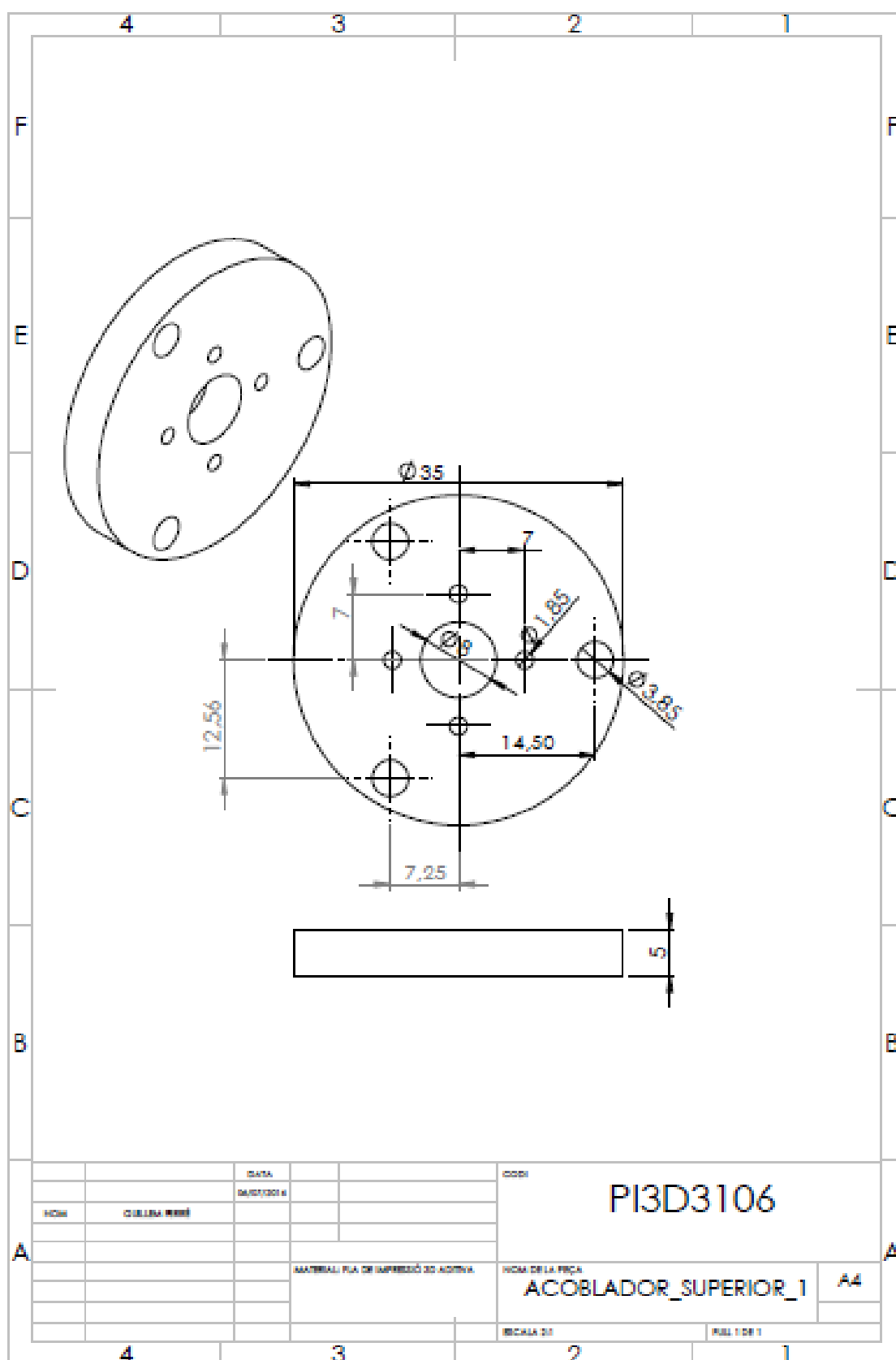


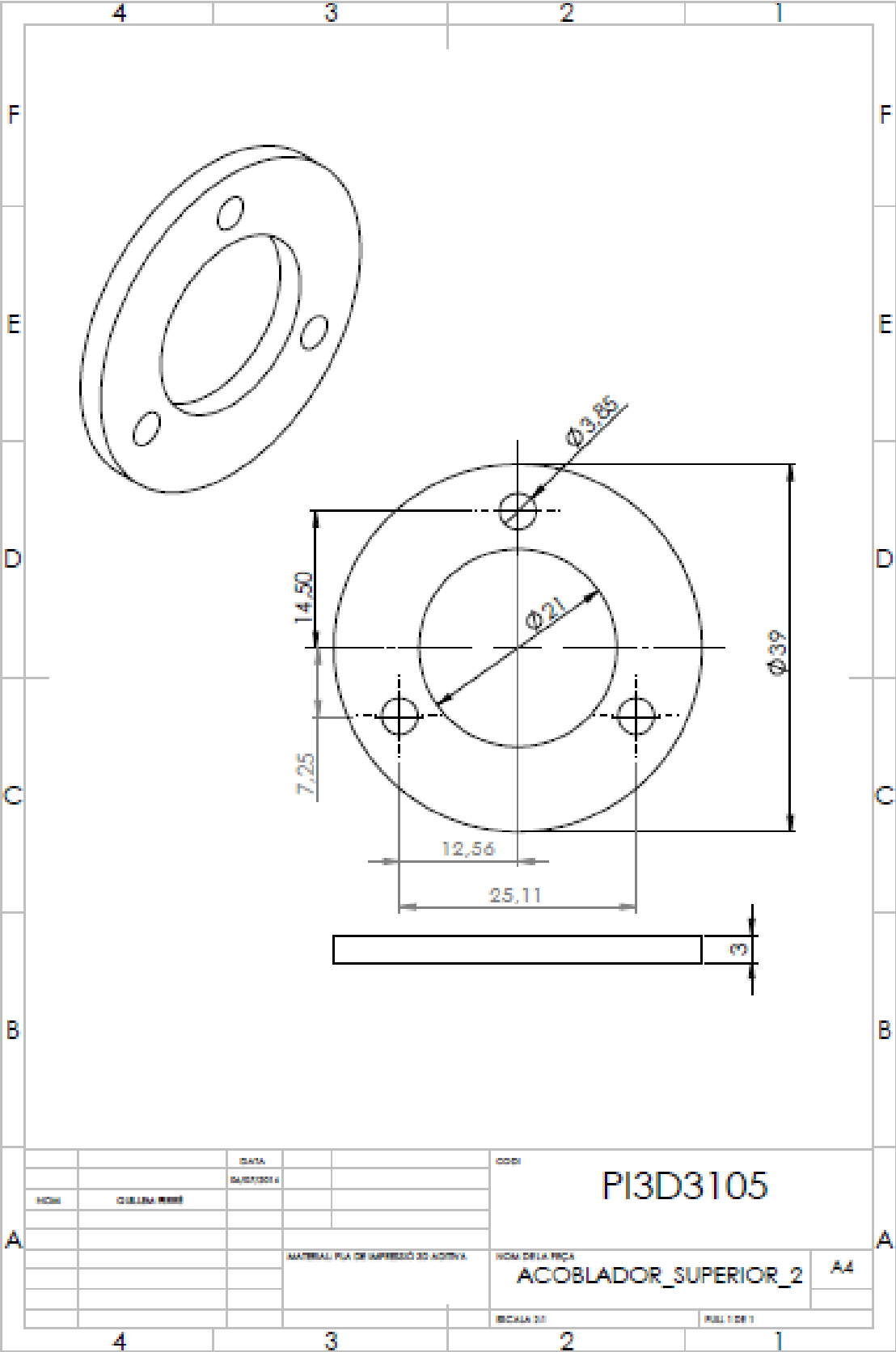




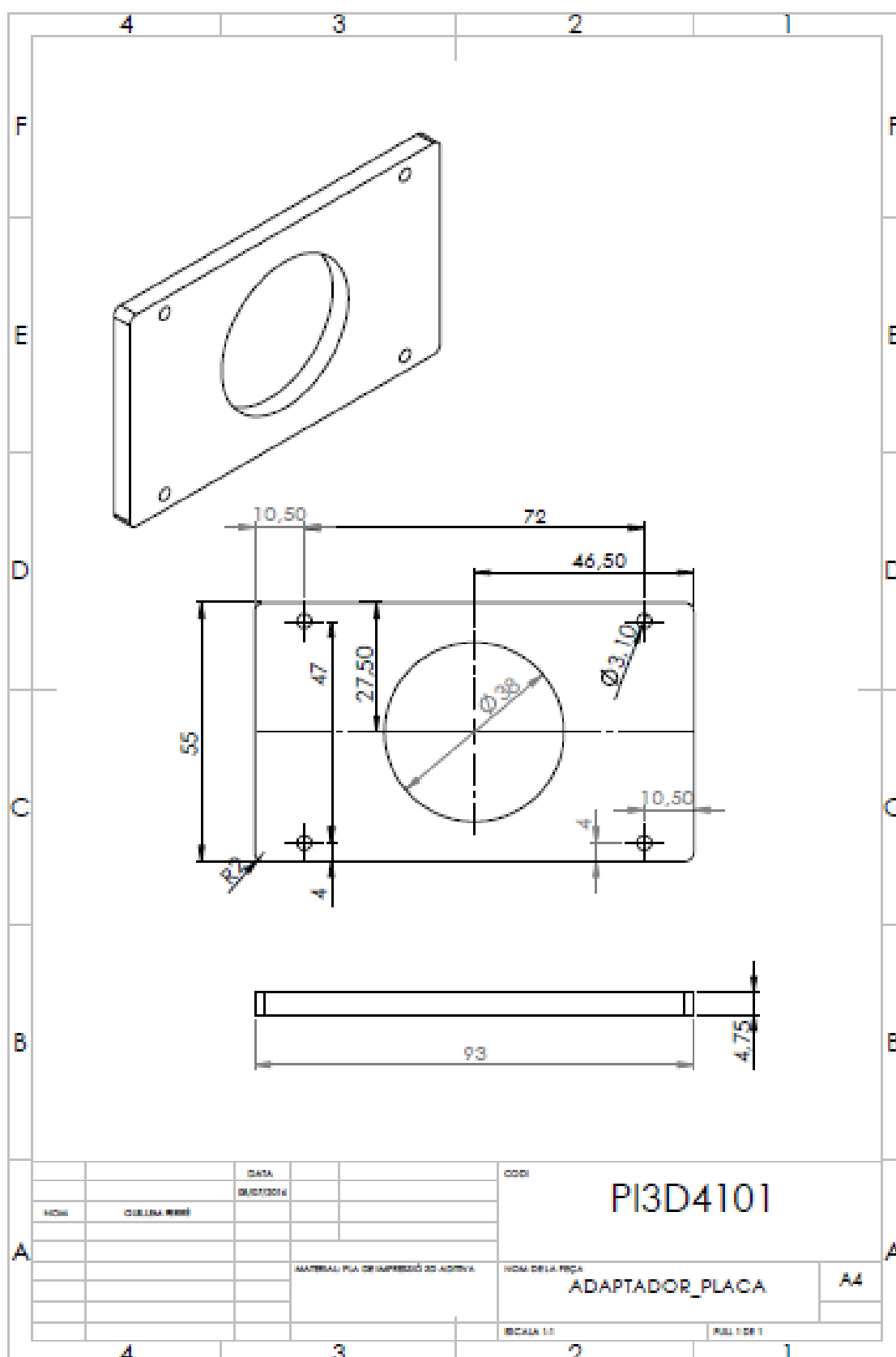


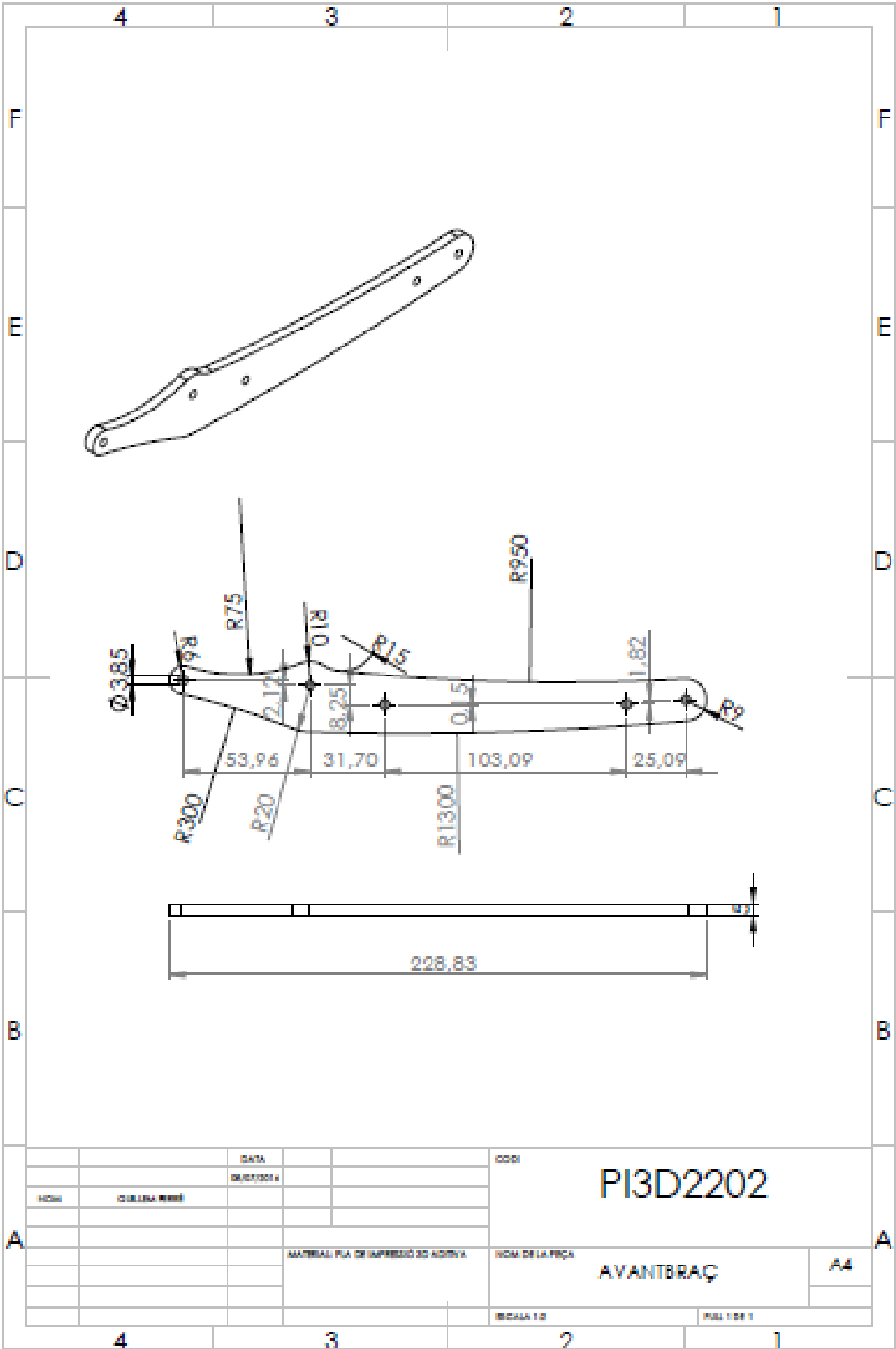


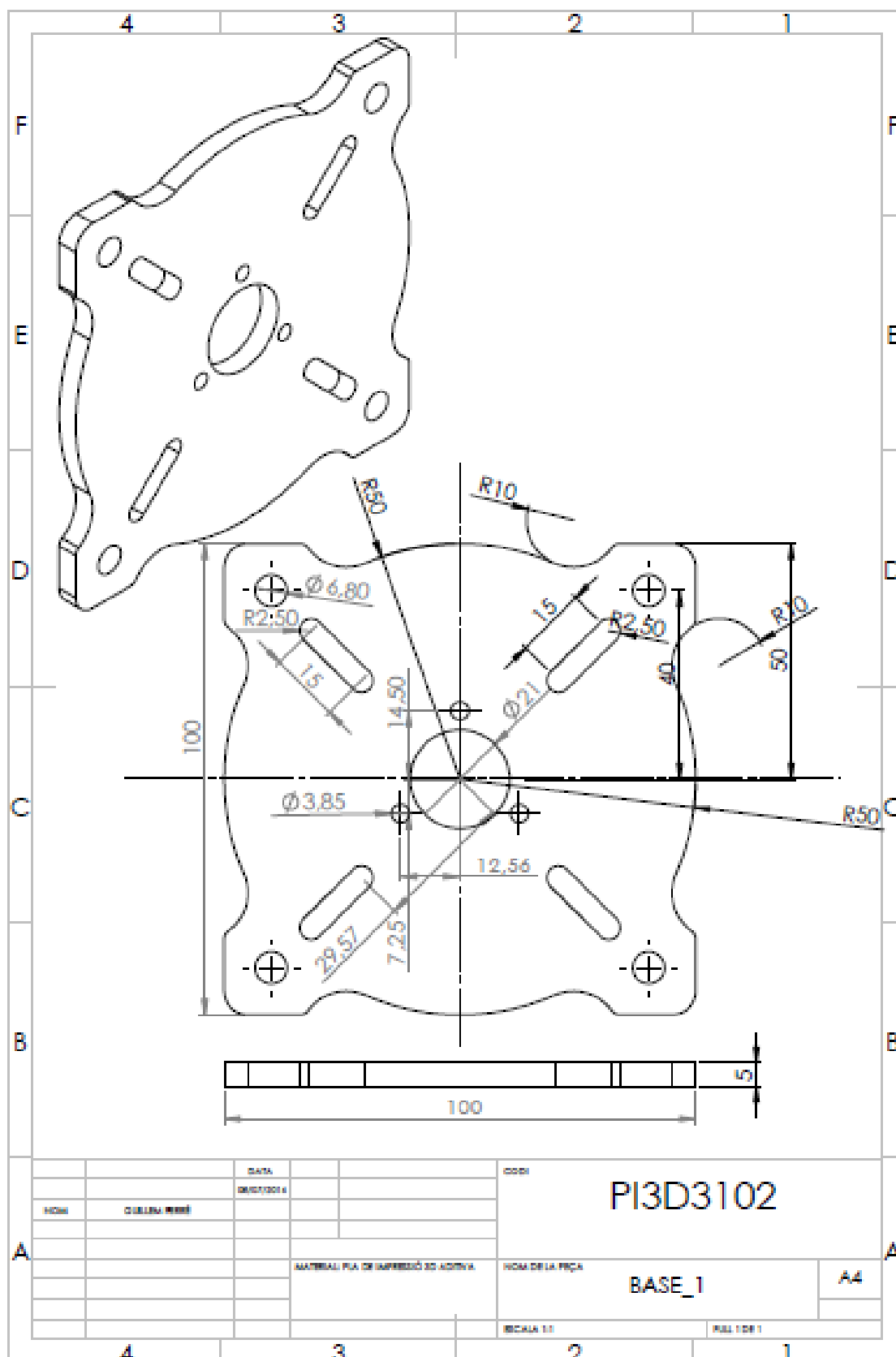


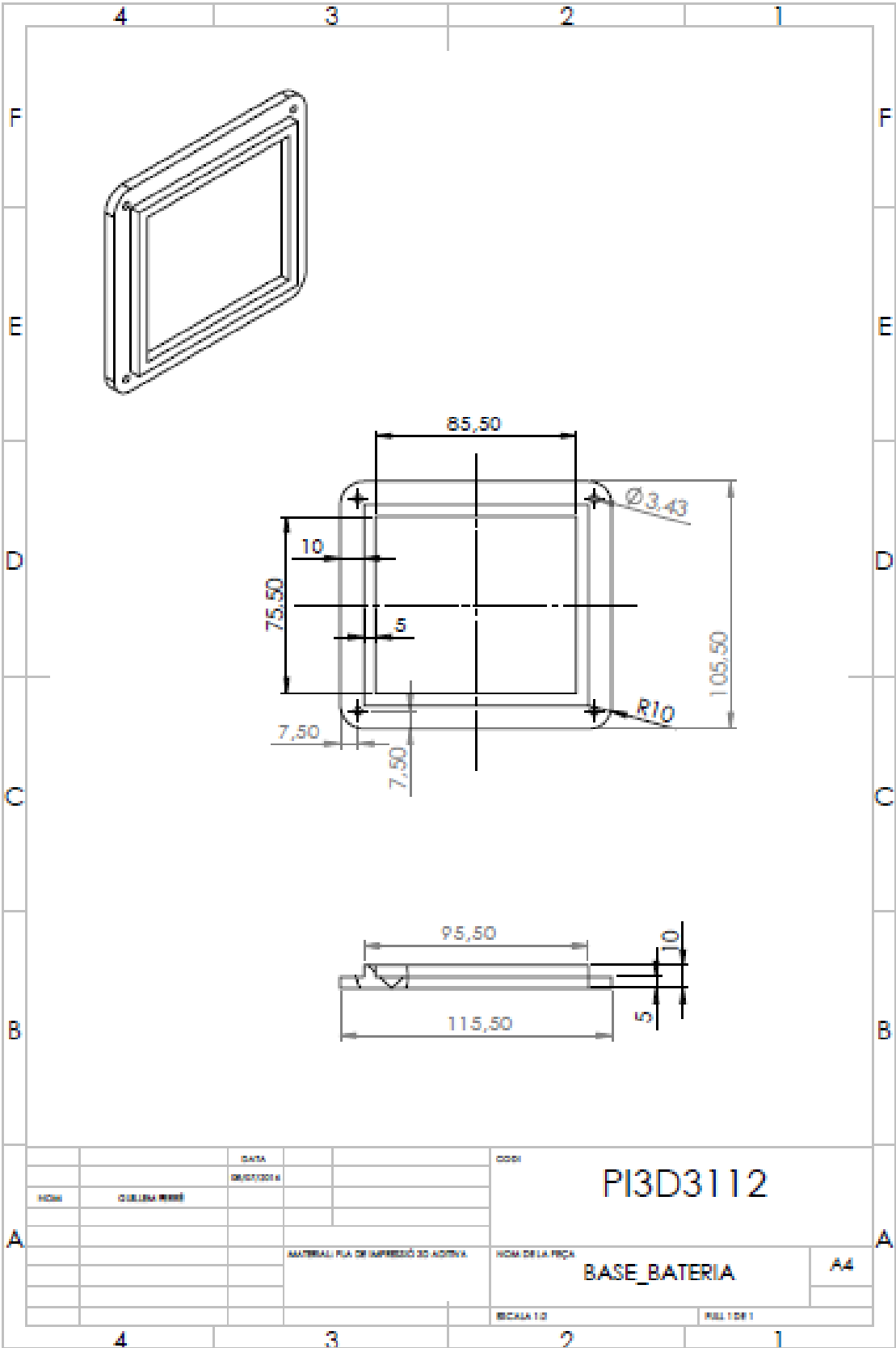


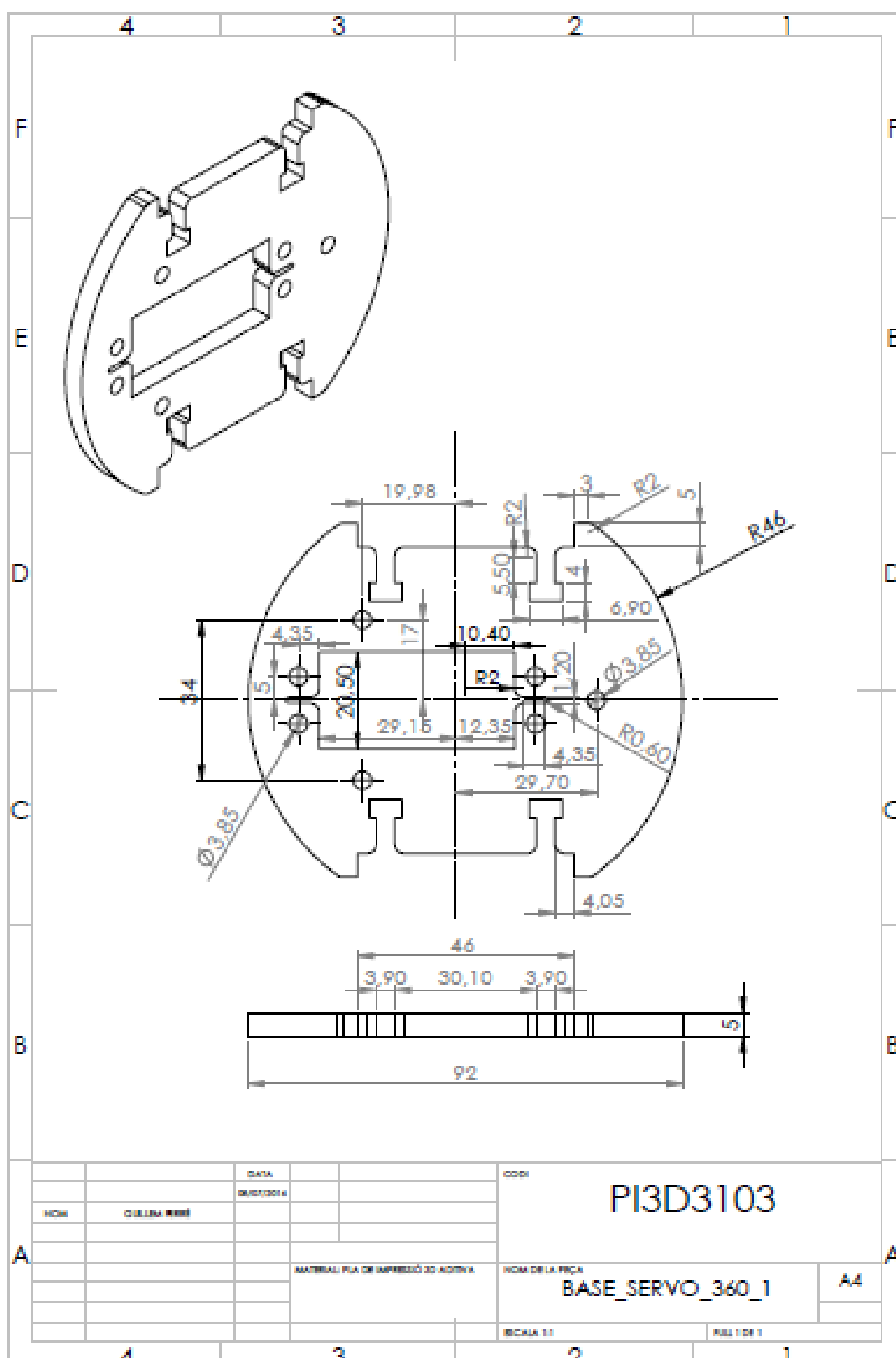


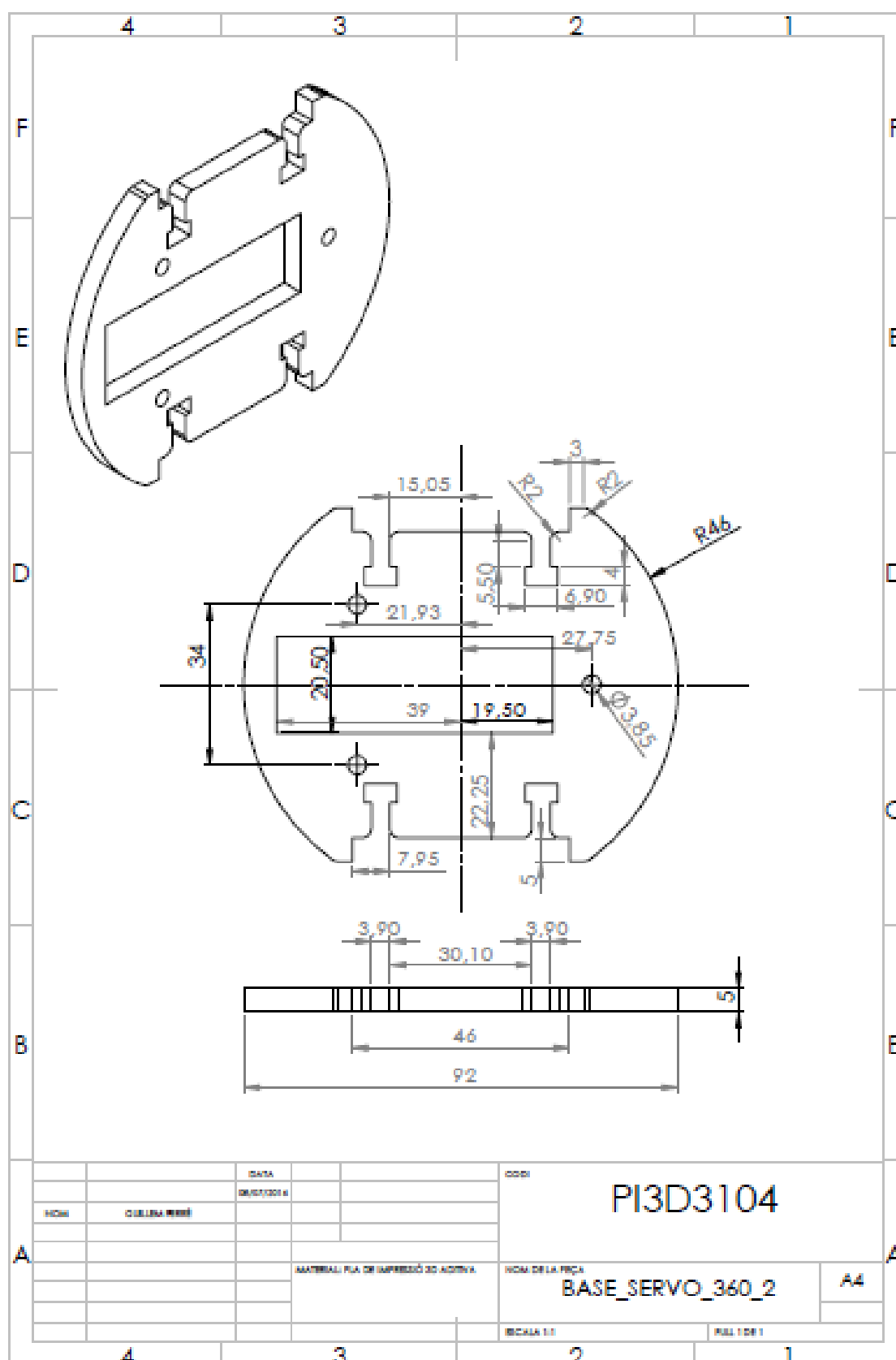


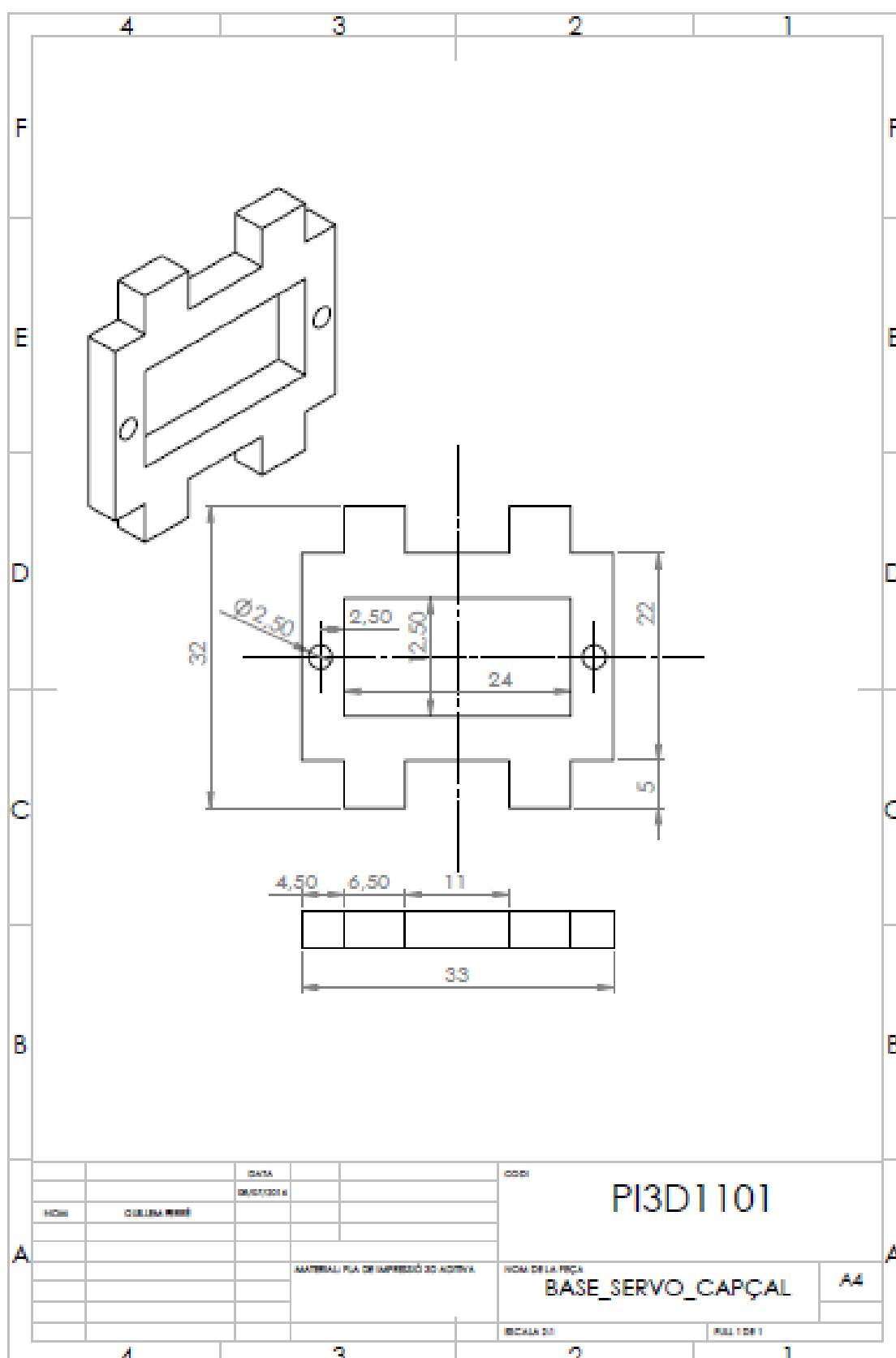


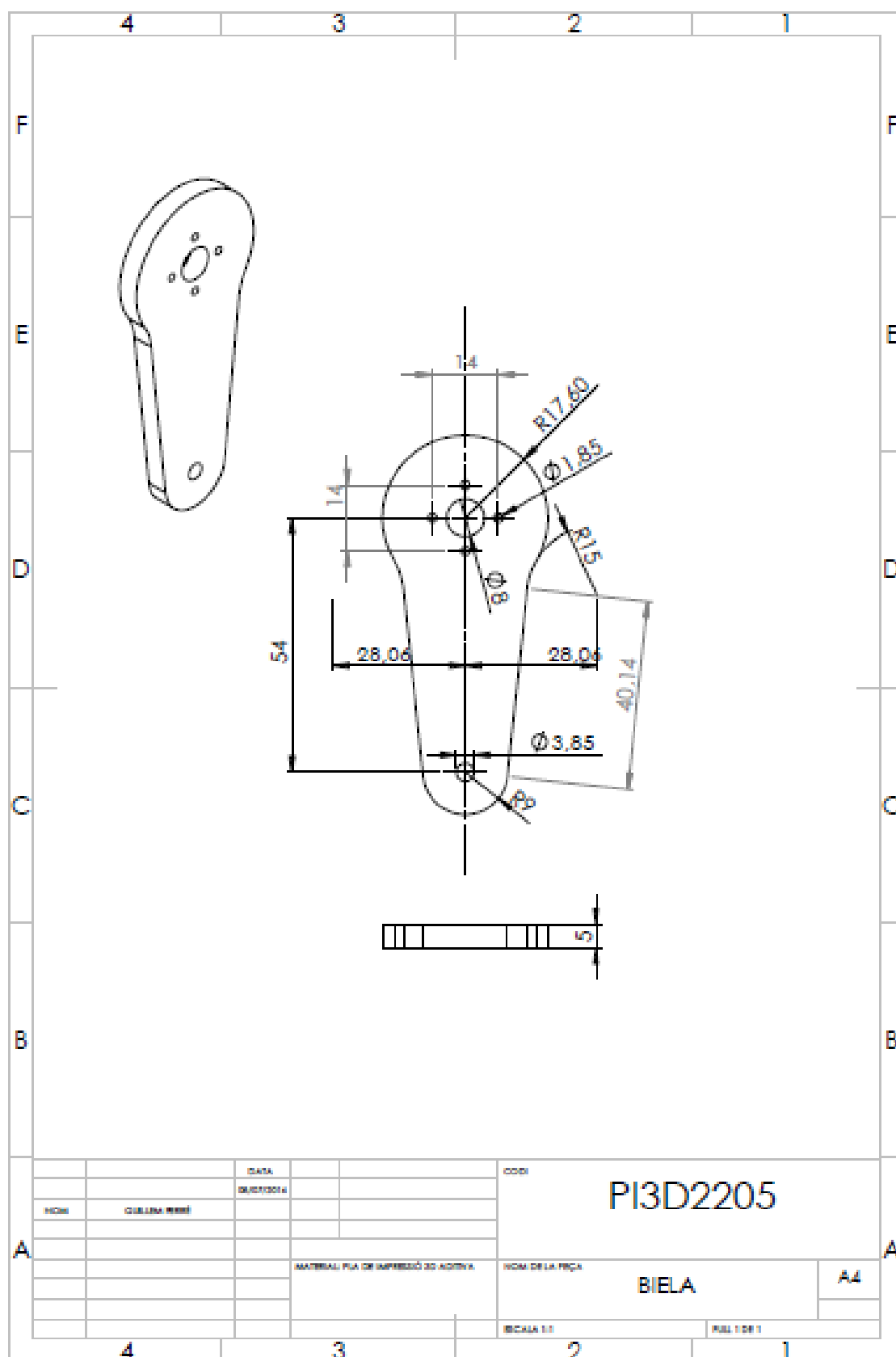




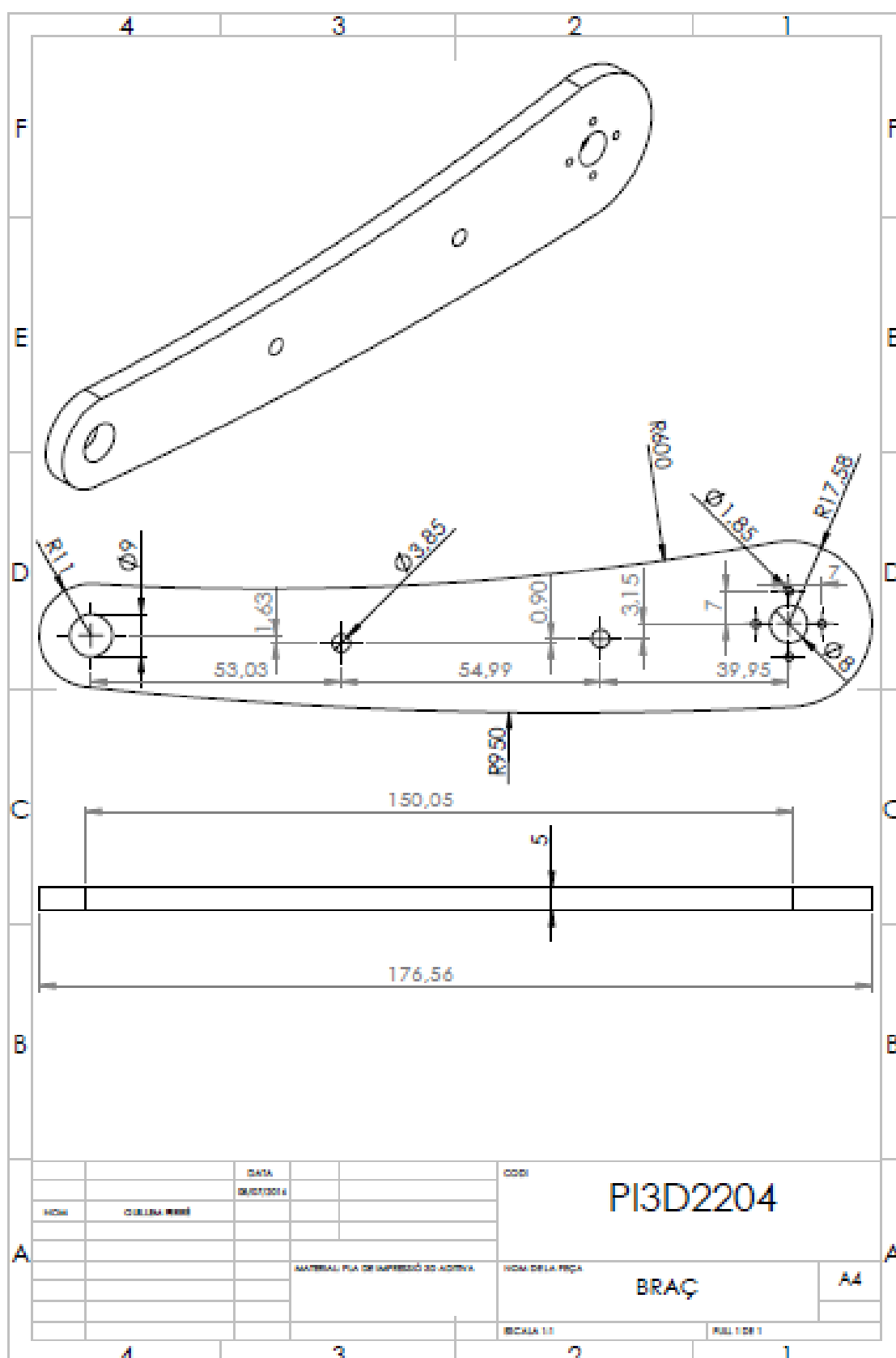


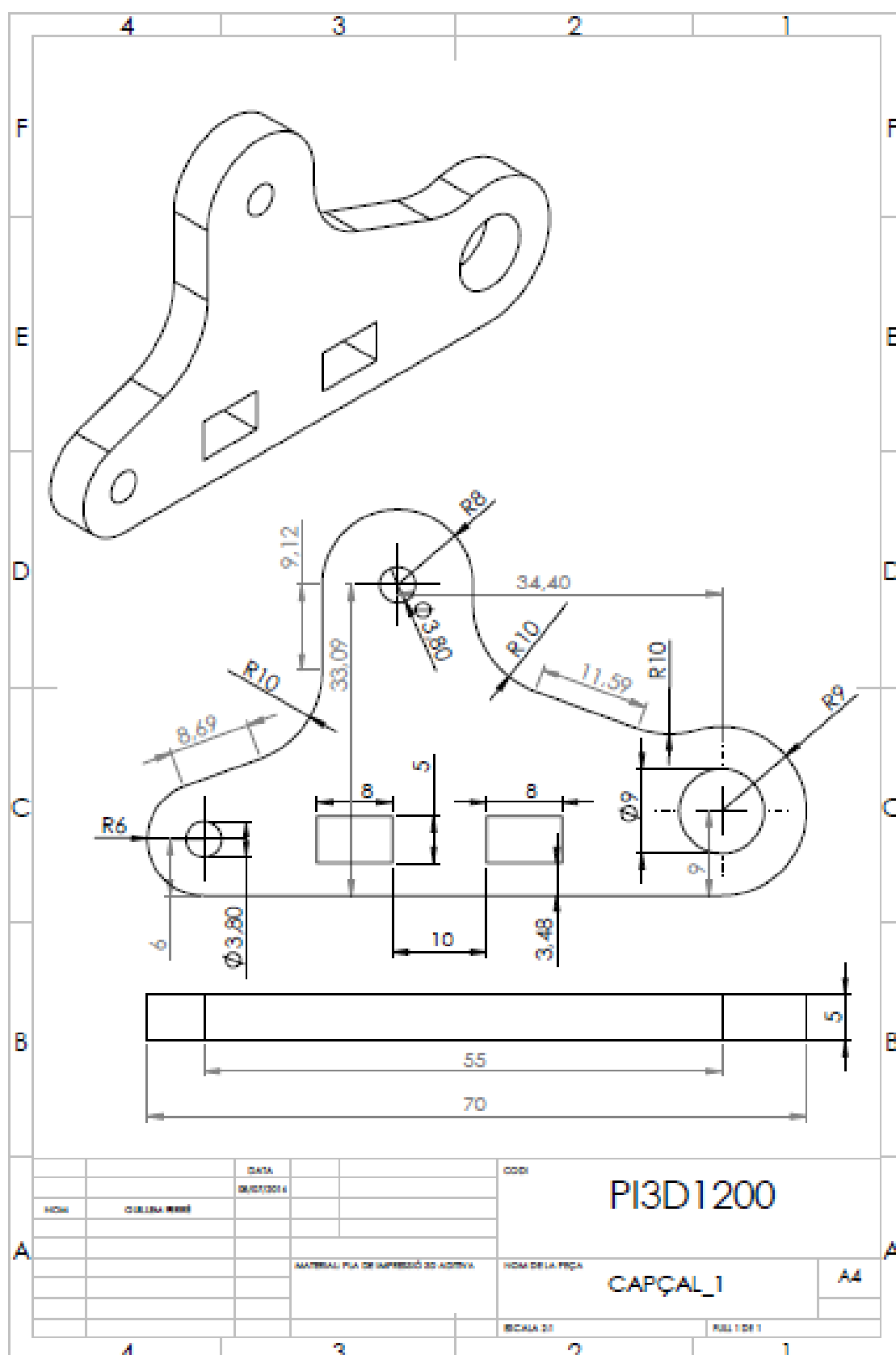


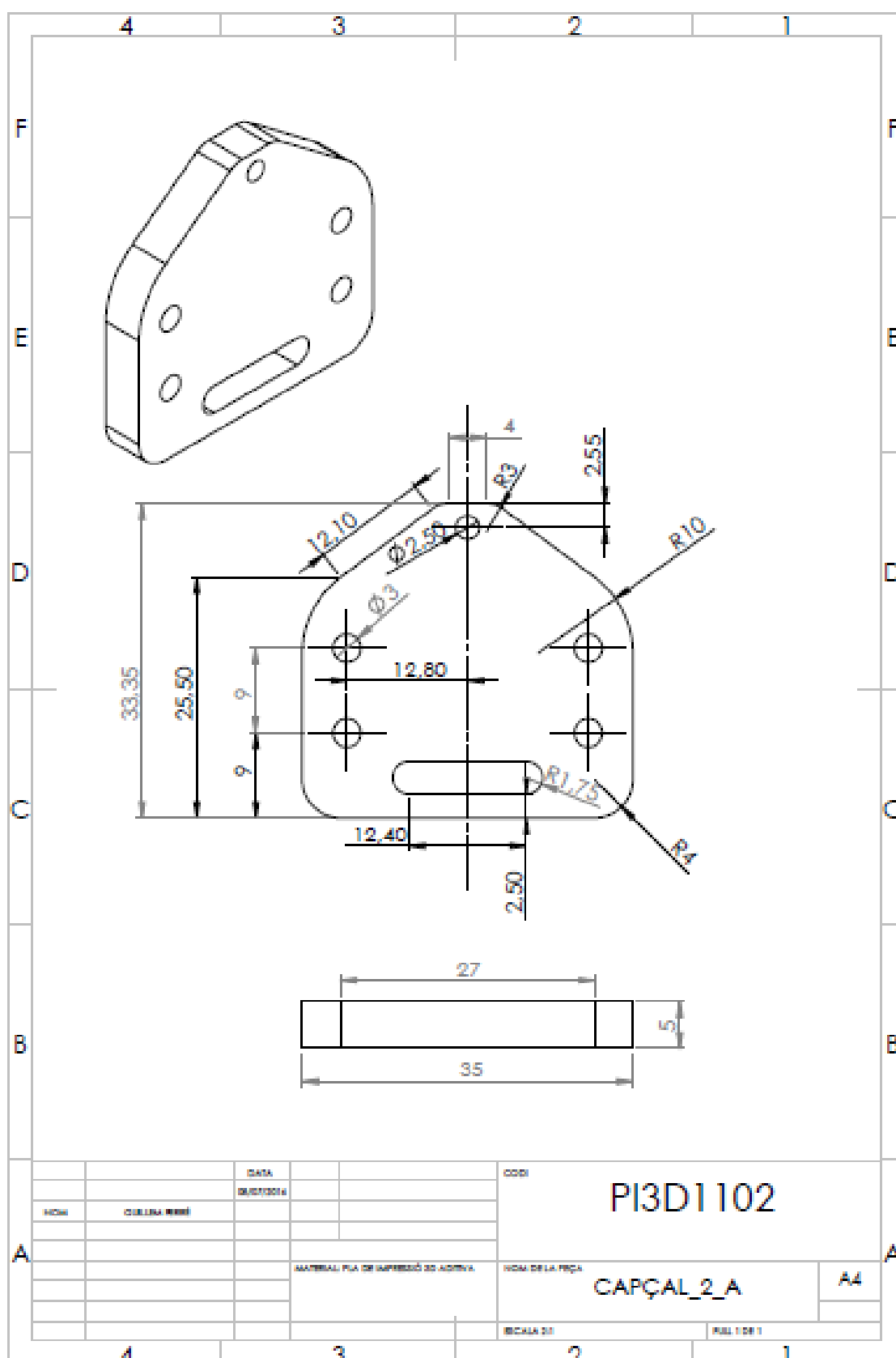


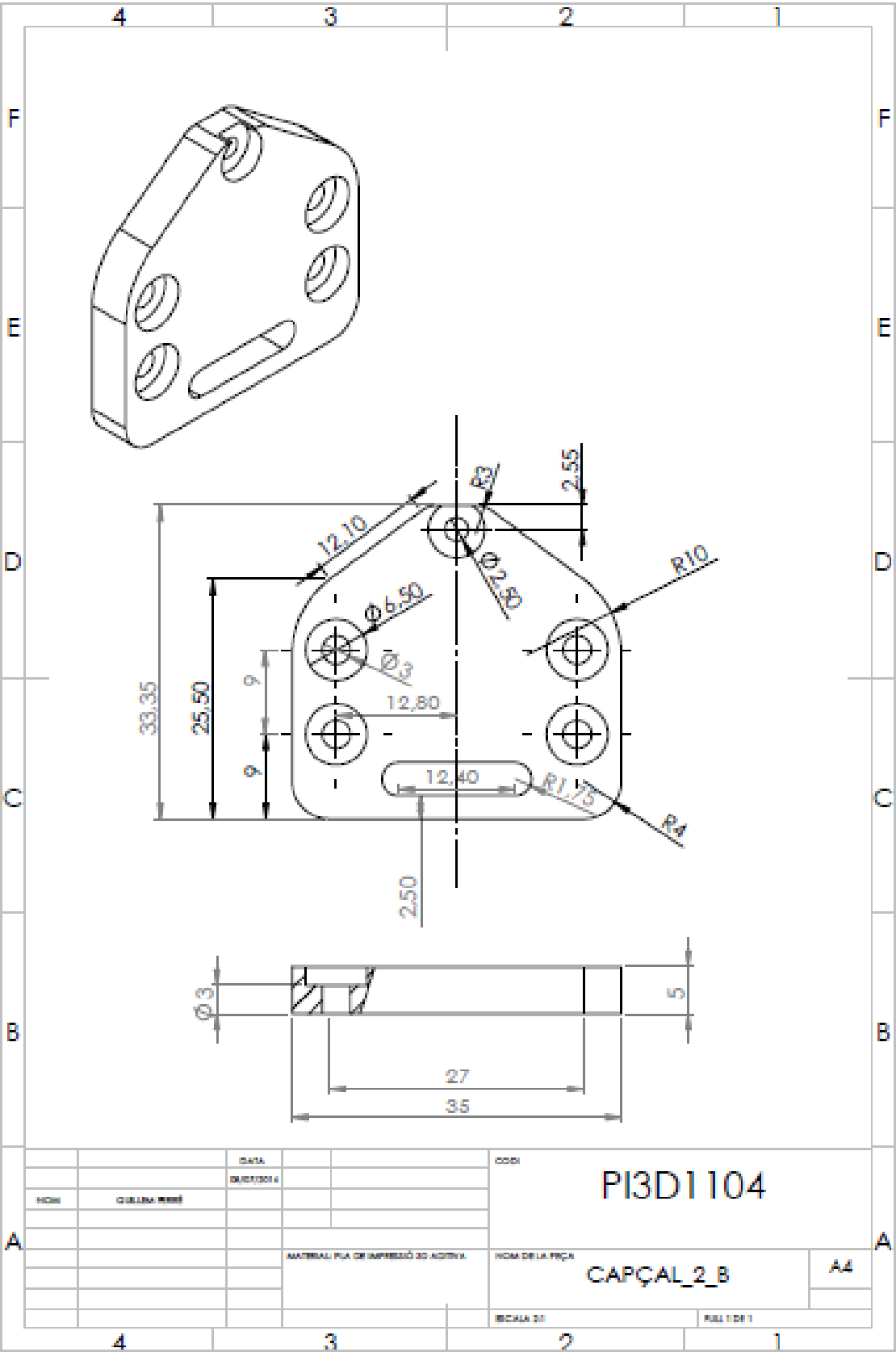


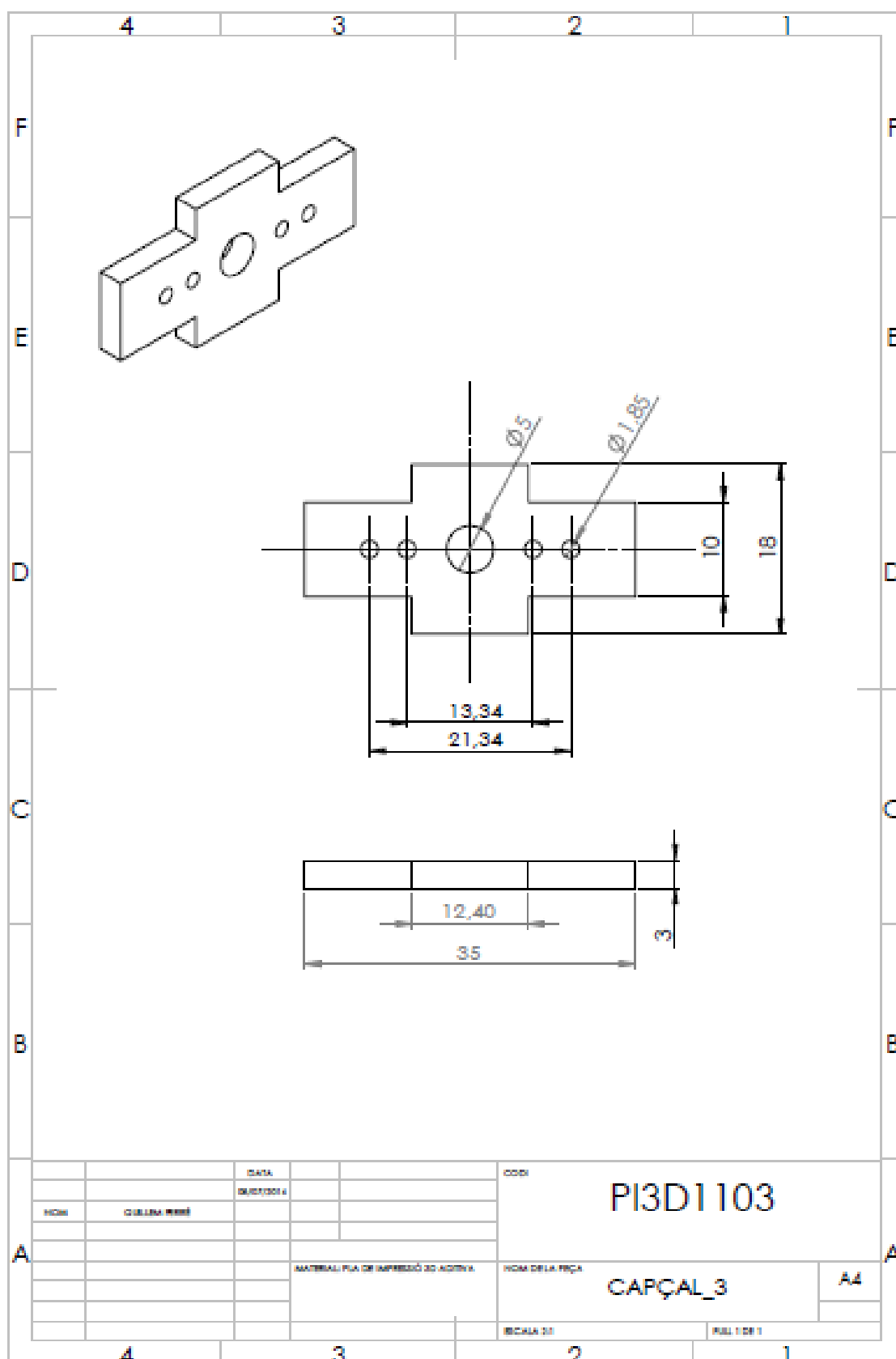


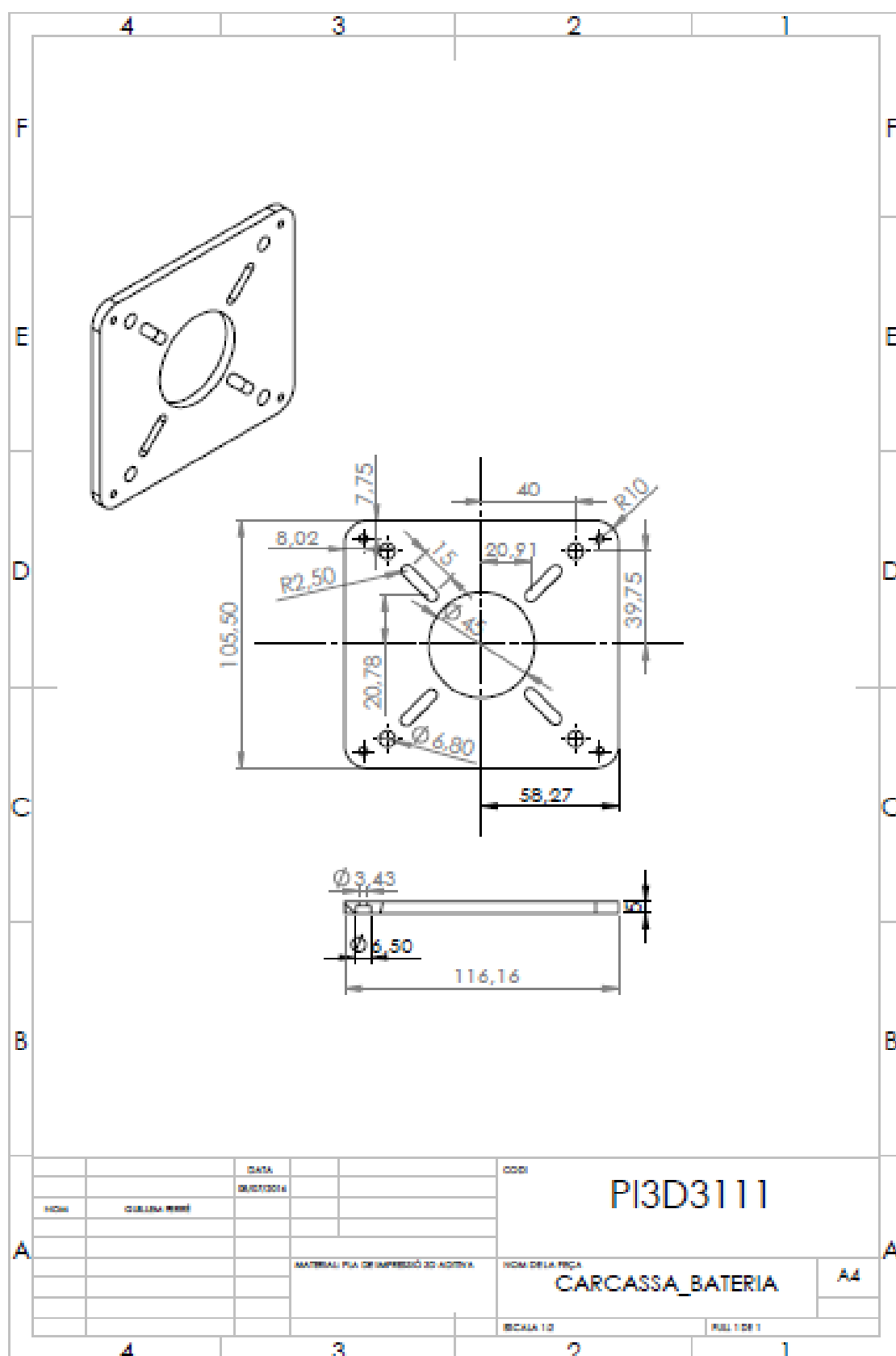


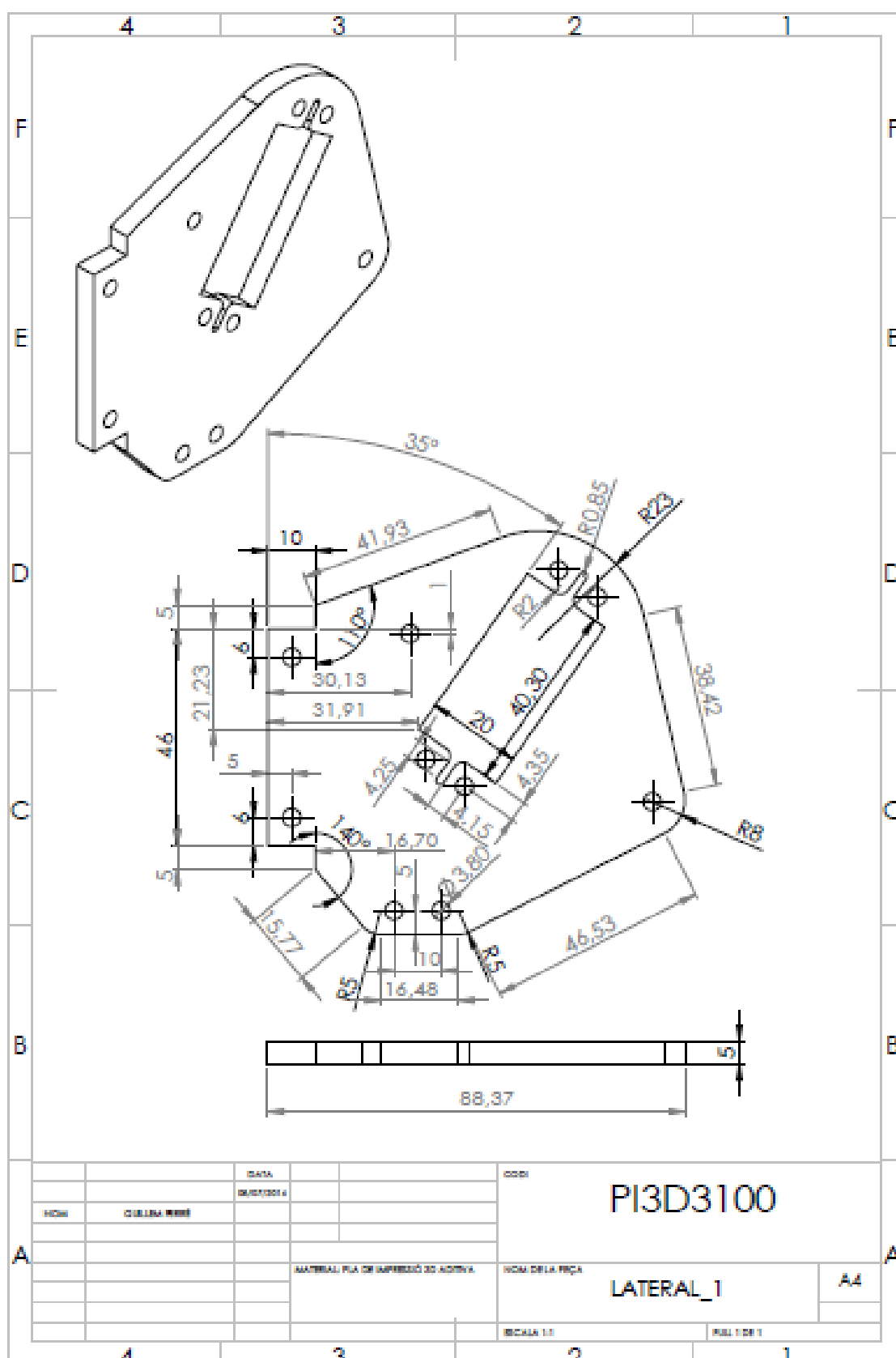


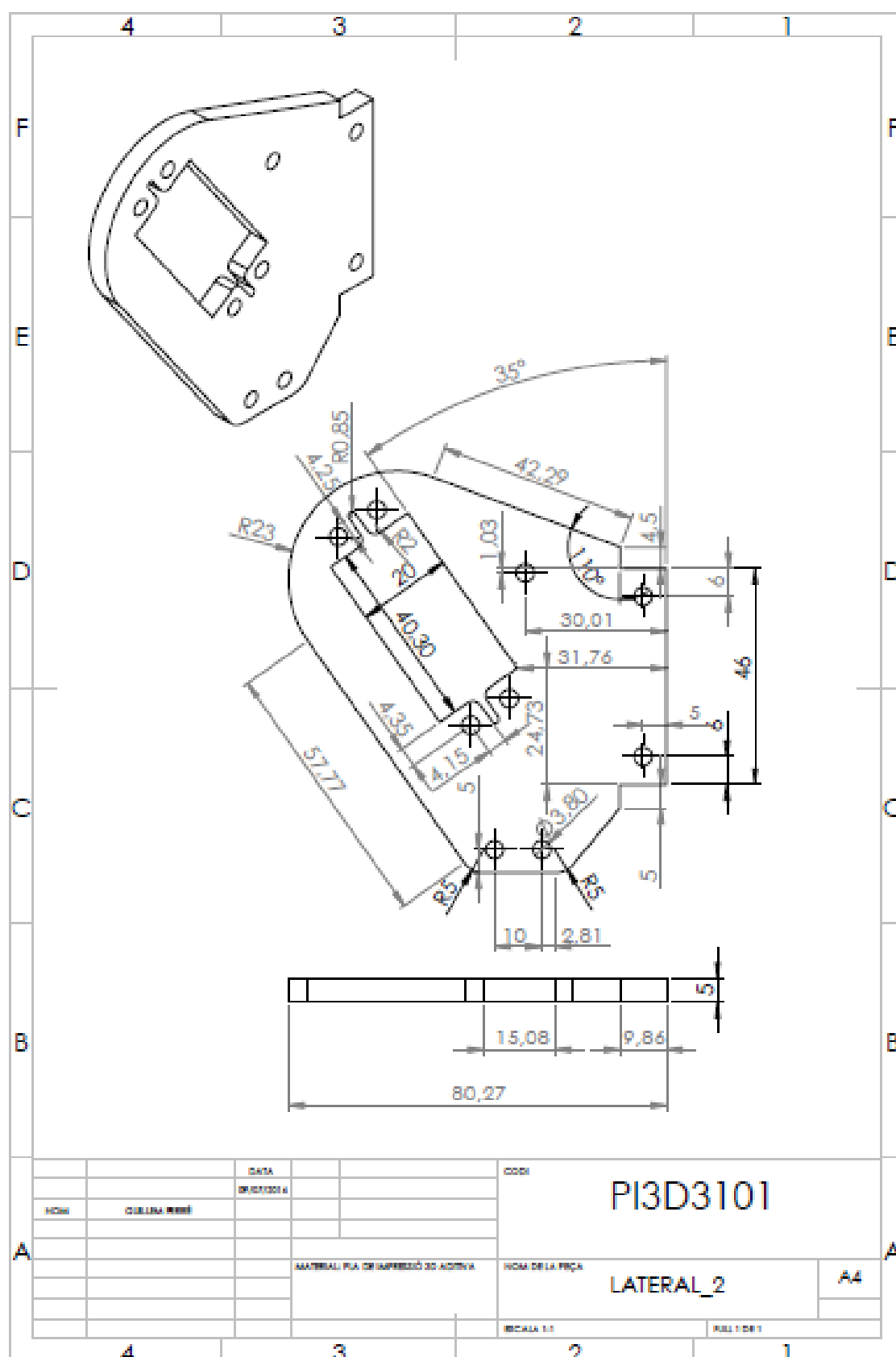




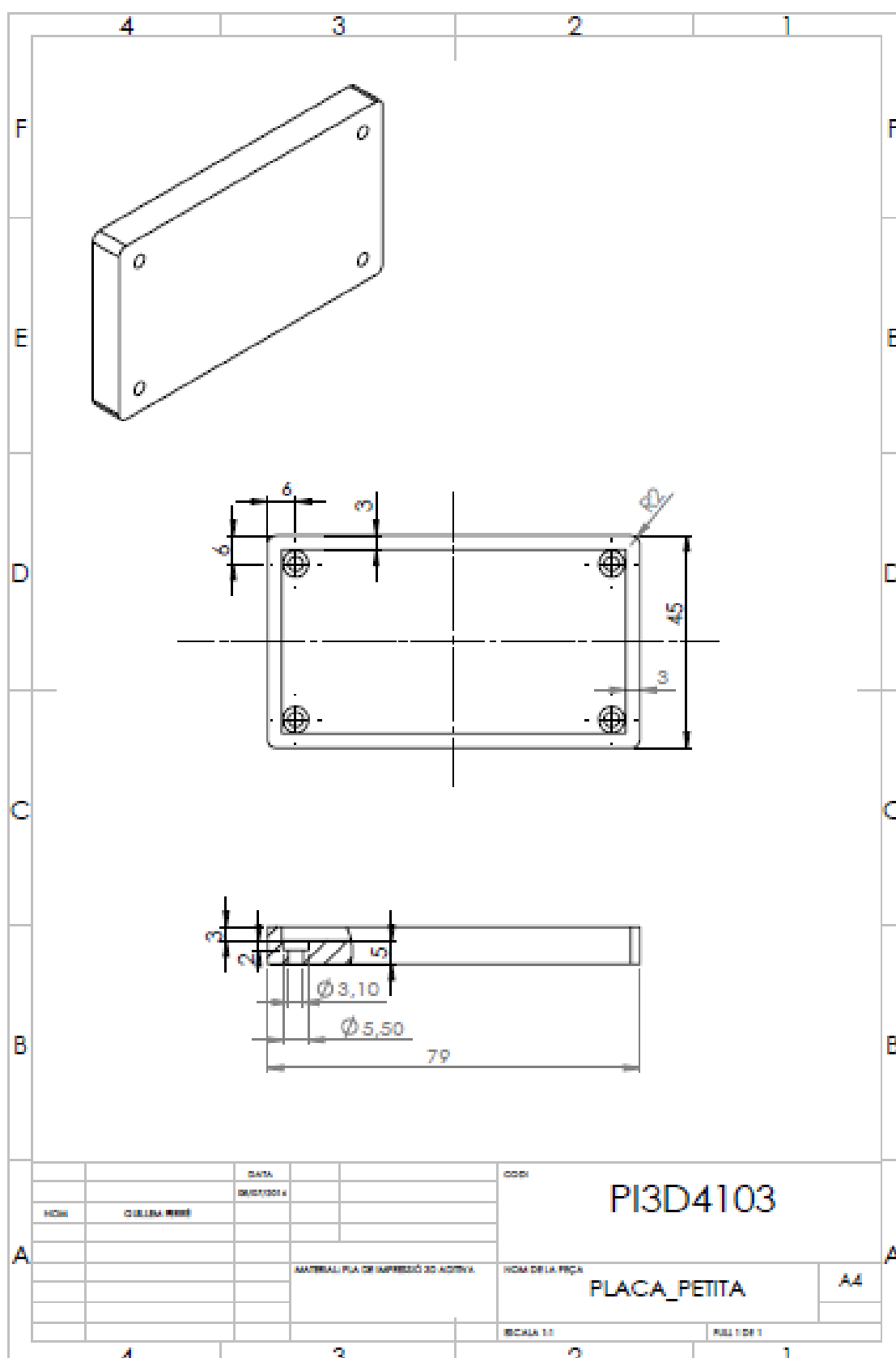


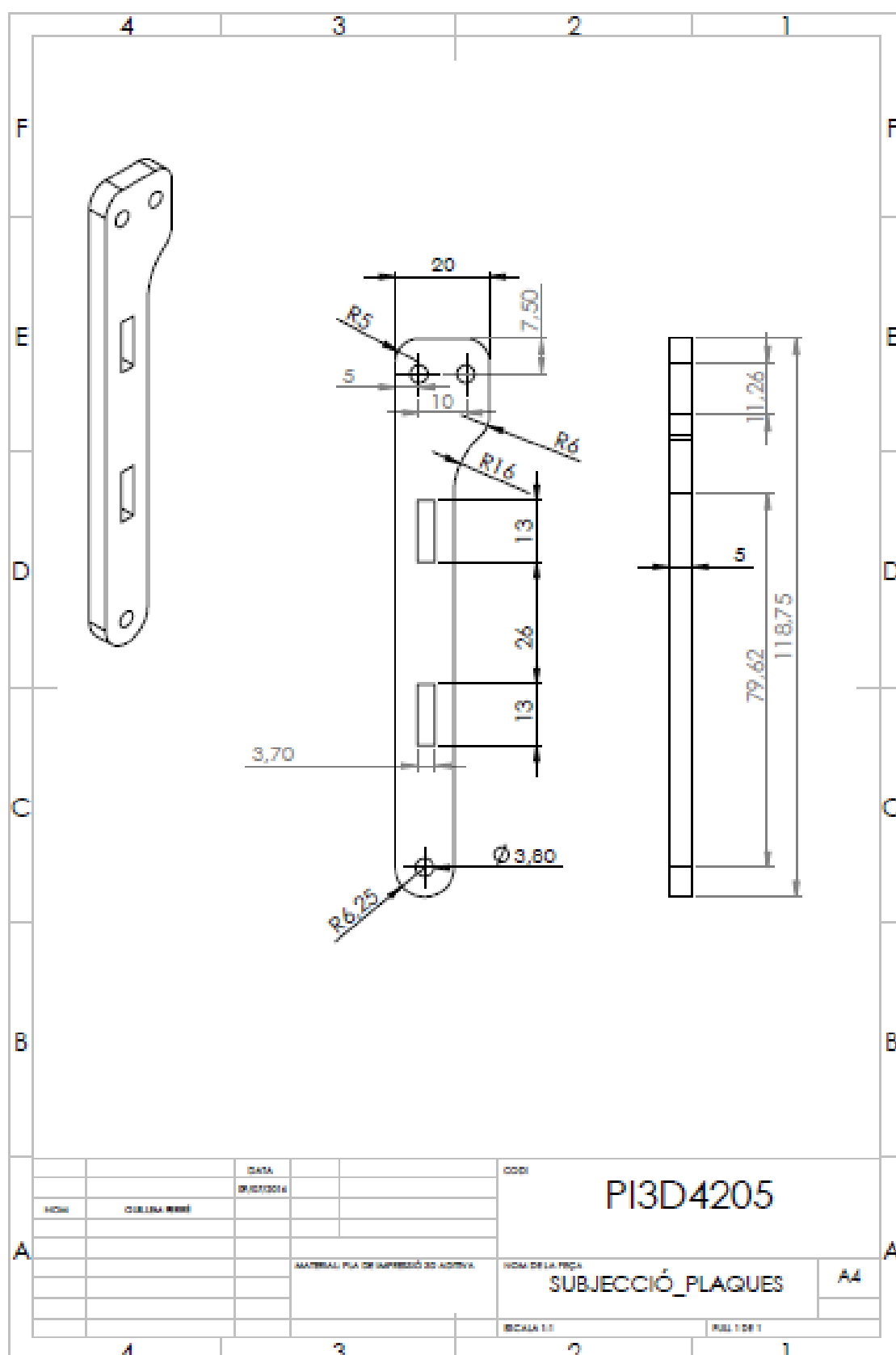


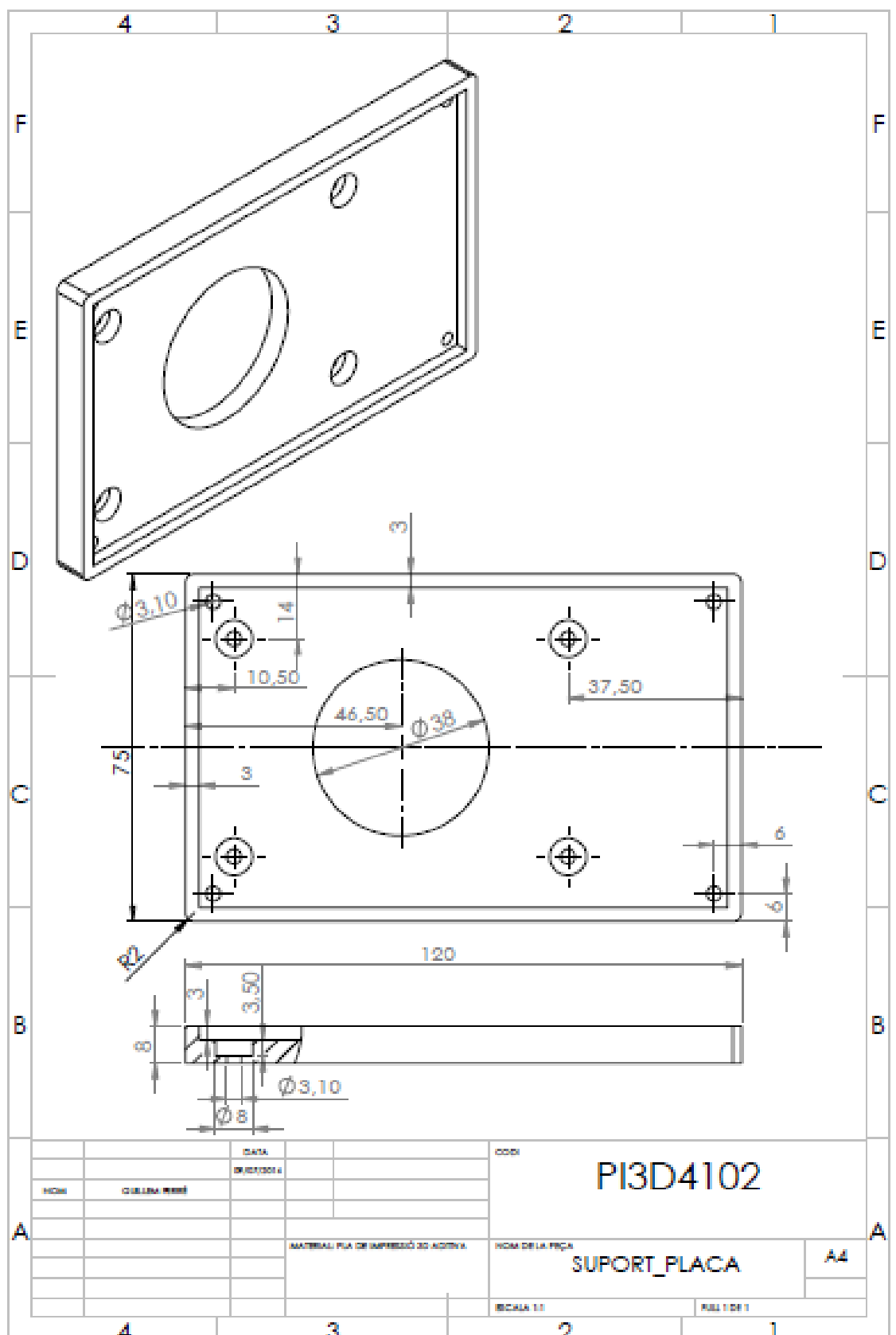




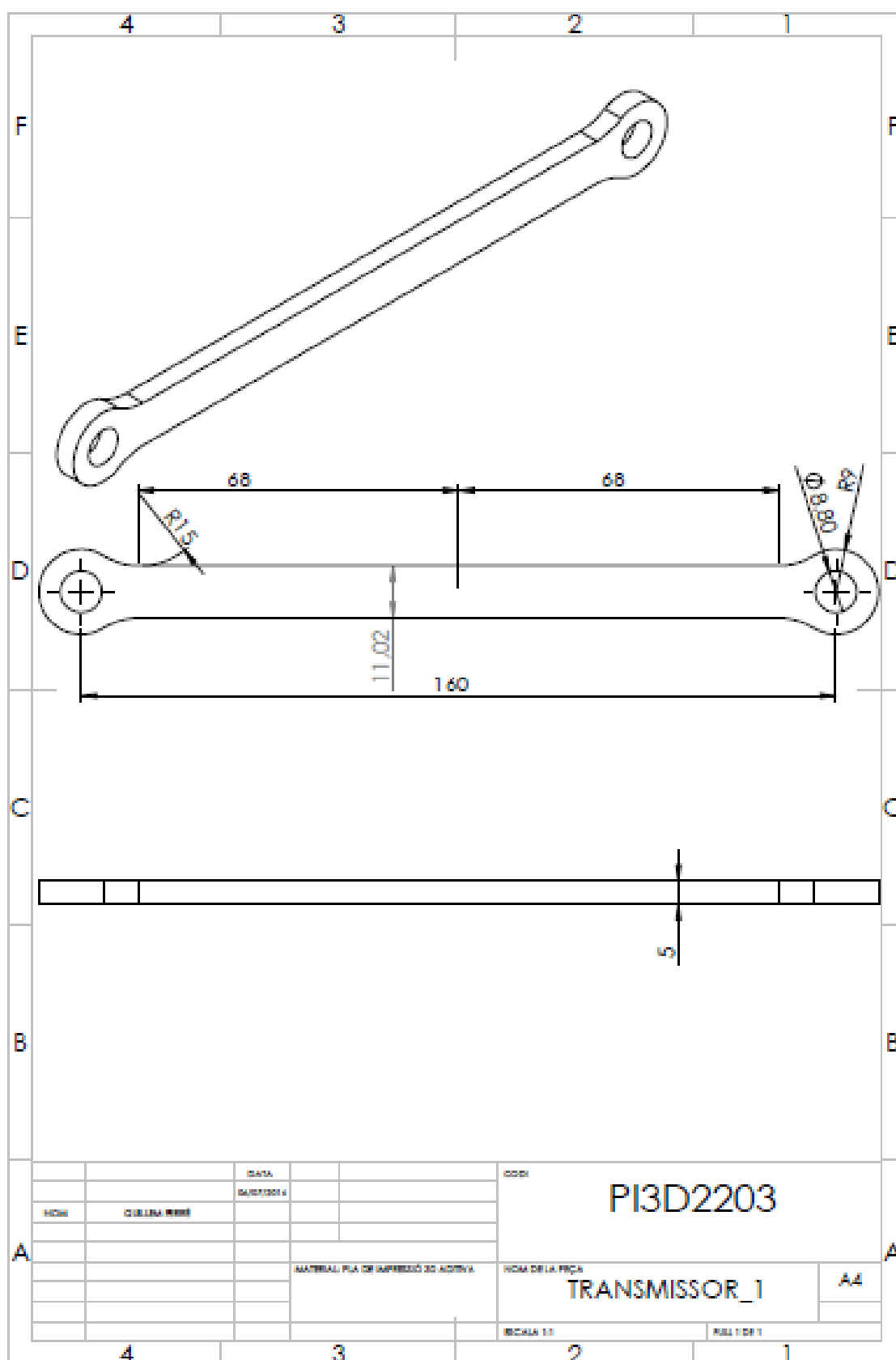




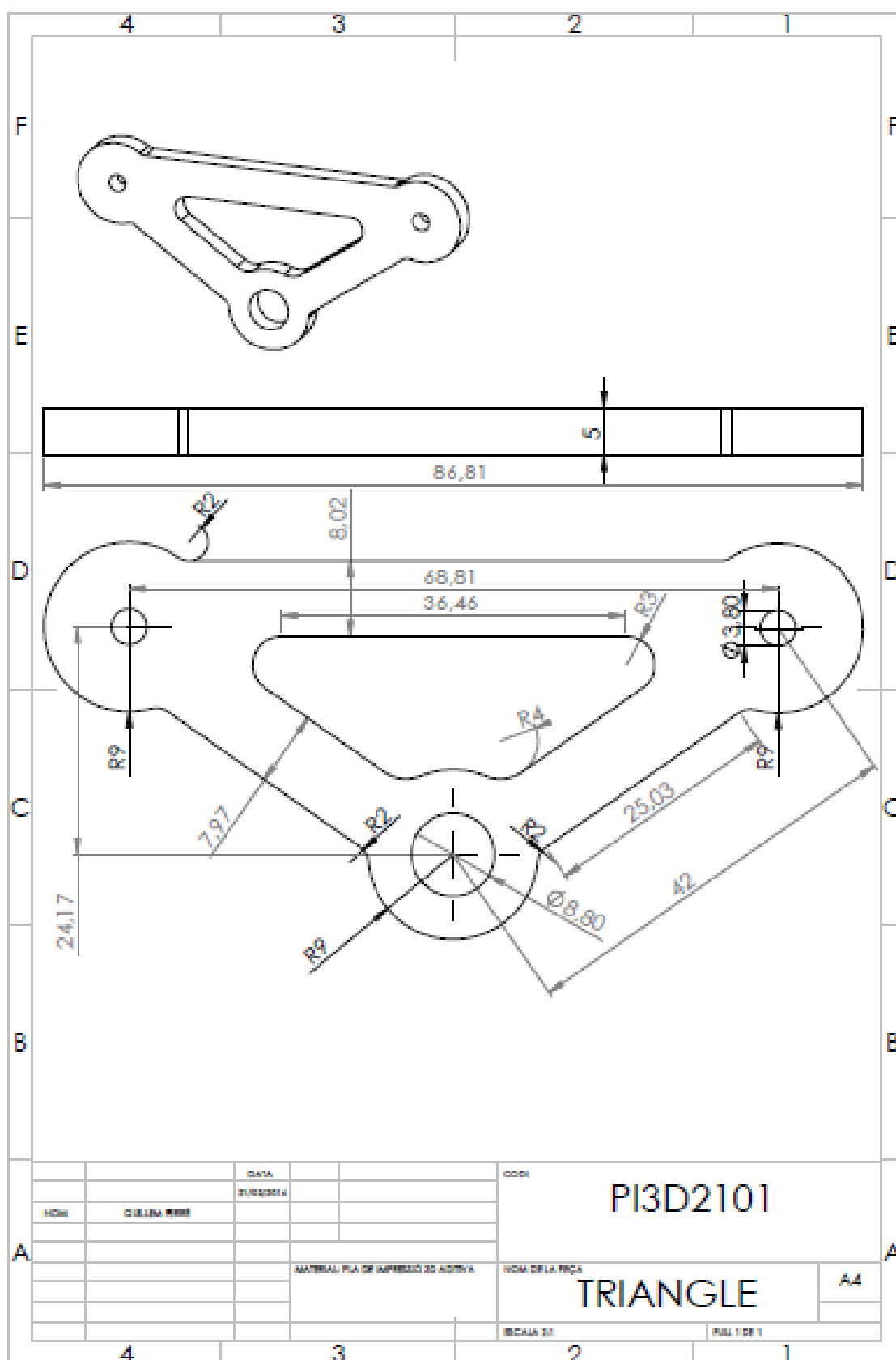


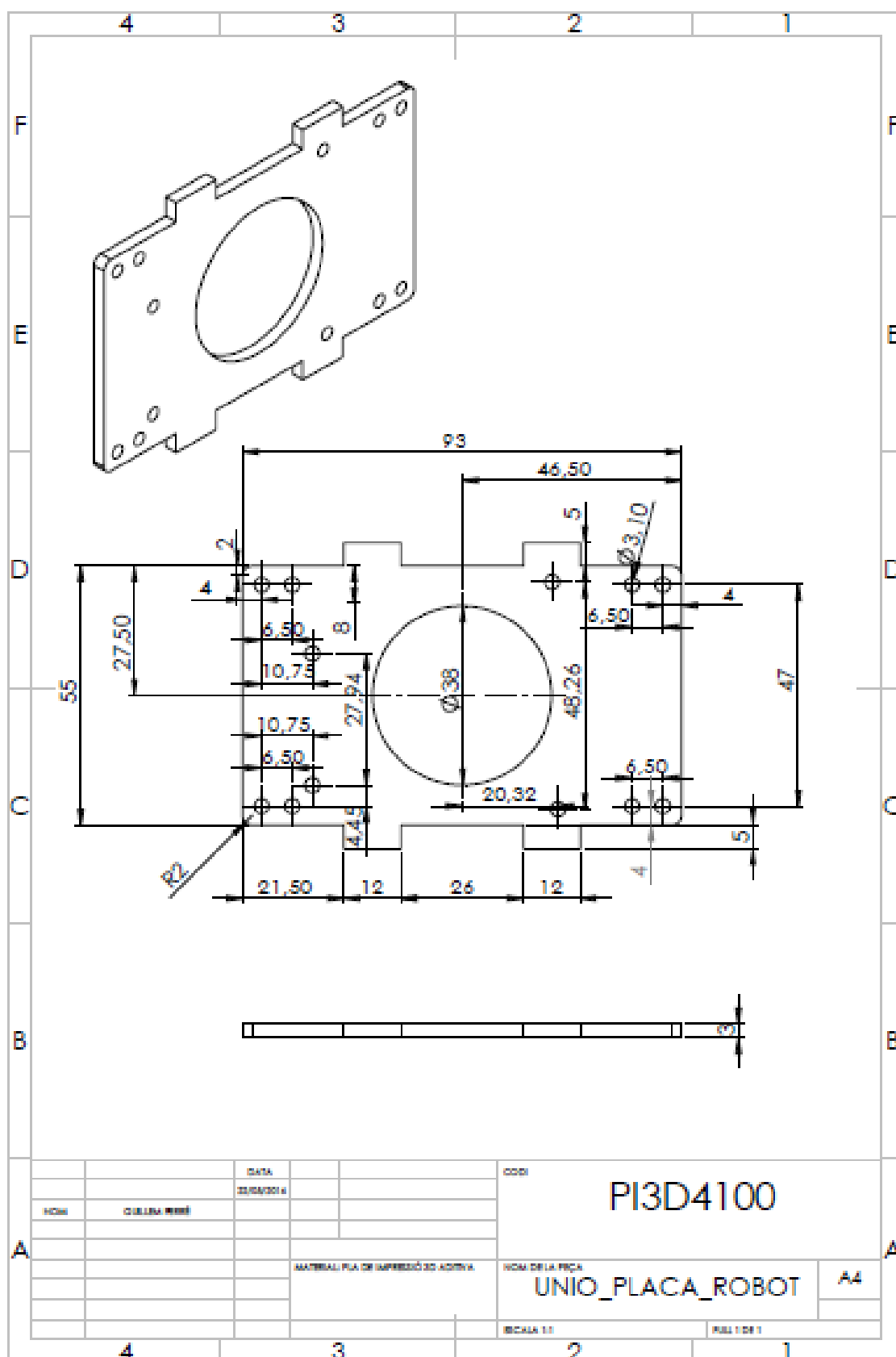














## 10.5. Especificacions tècniques



### SOLENOID / ELECTROMAGNET SOLENOIDE / ELECTROAIMANT SOLENOIDE / ELECTROIMAN C-6092

#### TECHNICAL CHARACTERISTICS

Power: 1.1 W  
Voltage: 12V  
Resistance: 131W  
Current: 92mA  
Time "on": indefinite  
Amper x return: 198 (at 20 ° C)  
Winding: 2162 turns  
Connection: 2 UL1571 AWG28 wires 100mm  
Total weight: 10g  
Piston Weight: 2g

#### Open weave electromagnet.

Thanks to its optimized design and use materials of high permeability and high-density windings, this magnet provides maximum strength with a very small size and weight. This model is suitable for professional and educational applications, such as: Locks, brakes, kicks, escapes, parts supply, positioning, robots, etc.. Operation: When you connect the electromagnet attracts the plunger inside.

#### Electroaimant avec couverture complète.

Grâce à sa conception optimisée et à ses matériaux de haute perméabilité ainsi que ses bobinages de haute densité, cet électroaimant offre la force maximale avec des dimensions et un poids très réduits.

Ce modèle est spécialement recommandé pour des applications professionnelles et éducatives, comme :

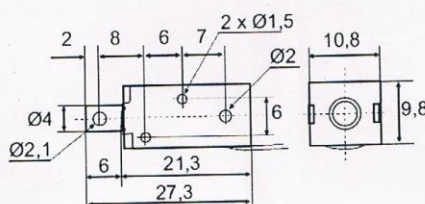
serrures, freins, retours arrières, fournitures de pièces, positionnements, robots, etc... Fonctionnement: Lorsque vous connecter l'électroaimant, il attire le piston vers l'intérieur

#### Electroimán de armadura abierta.

Gracias a su optimizado diseño y a emplear materiales de alta permeabilidad y bobinados de alta densidad, este electroimán suministra la máxima fuerza con un tamaño y peso muy reducidos.

Este modelo es apto para aplicaciones profesionales y educativas, tales como:

Cerrojos, frenos, retrocesos, escapes, suministros de piezas, posicionados, robots, etc. Funcionamiento: al conectar el electroimán, atrae el émbolo hacia su interior.



Drawn in on position (plunger fully inserted)

Dimensions in mm

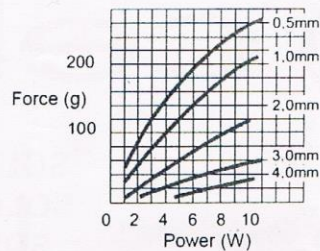
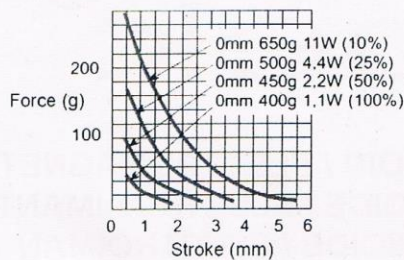
#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

CYCLE (%): $\frac{ON}{ON + OFF} \times 100$	100% continuous	50% (or less)	25% (or less)	10% (or less)
"ON" time maximum (seconds)	indefinite	50s	18s	2s
Power at 20 ° C	1.1W	2.2W	4.4W	11W
Amper x back to 20 ° C voltage C.C	198	281	396	627
	12V	17V	24V	38V

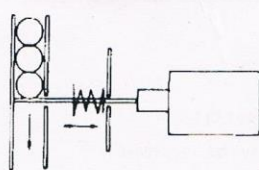
Race	Force
0 mm	400 g
0,5 mm	50 g
1 mm	22 g
2 mm	10 g

www.cebek.com - sat@cebek.com

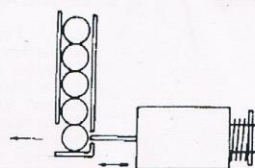
C-6092



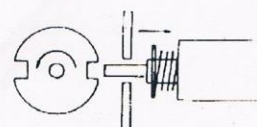
## TYPICAL APPLICATIONS



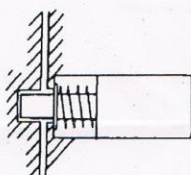
supply parts  
Fourniture de pièces  
Suministrar piezas



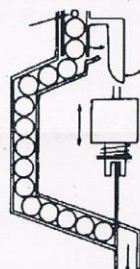
Provide "one on one"  
Fourniture "une à une"  
Suministrar "uno a uno"



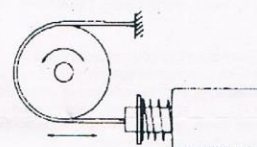
Position  
Positionner  
Posicionar



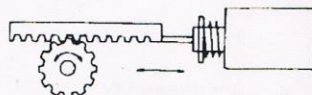
Locks / locks / latches  
Serrures  
Cerraduras / cerrojos / pestillos



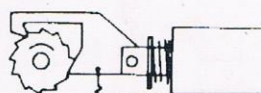
supply parts  
Fourniture de pièces  
Suministrar piezas



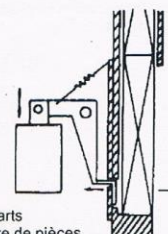
Brake  
Freiner  
Frenar



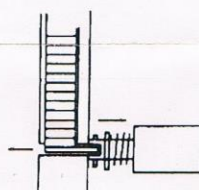
Back  
Retour arrière  
Retroceder



Rotate an angle  
Tourner à angle déterminé  
Girar un ángulo determinado



supply parts  
Fourniture de pièces  
Suministrar piezas



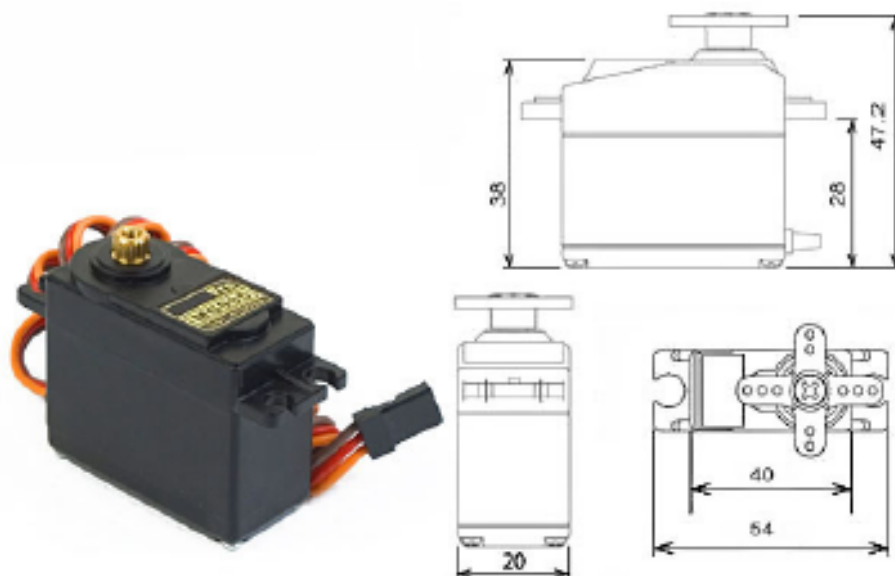
supply parts  
Fourniture de pièces  
Suministrar piezas



Cebek<sup>®</sup> is a registered trademark of the Fadisel group

www.cebek.com - sat@cebek.com

## MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



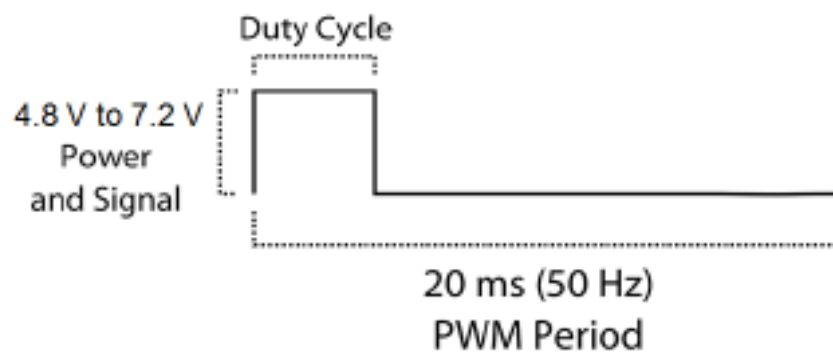
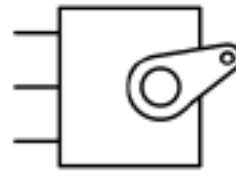
The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-speed standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG995 Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

### Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 8.5 kgf-cm (4.8 V ), 10 kgf-cm (6 V)
- Operating speed: 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Dead band width: 5 µs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

PWM=Orange (⏏)  
Vcc = Red ( + )  
Ground=Brown ( - )





## SM-S2309S MOTOR

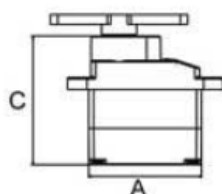
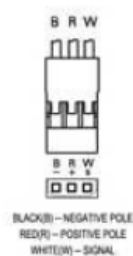


**No. :** SM-S2309S

**Size:** 22.9x12.3x22.2mm / 0.9x0.49x0.87in

**Weight:** 0.35oz

**Specifications:** Micro analog servo, 4 plastic gears + 1 metal gear



Dimension (Unit: mm)

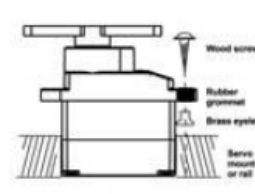
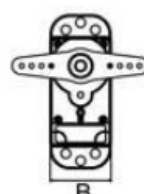


Diagram of installation

Products specification								Technical parameters						
Size(mm)					Weight		Wire	4.8V			6V			Rotation angle
A	B	C	D	E	g	oz		Speed	Torque		Speed	Torque		
sec/60°	kg·cm	oz·in	sec/60°	kg·cm	oz·in									
22.9	12.3	22.2	-	-	9.9	0.35	20.0	0.11	1.1	15.3	0.09	1.3	18.1	±60°

(Specifications are subjected to change without notice.)

#### Product brochure

Micro analog servo, 4 plastic gear+ 1 metal gear.

#### Products packing

◊Packing with elevators (Elevators+PE bag)

Packaging content: Servo×1PCS, Servo arm×1bag, Manual×1PCS

Packaging specifications : Size-120×85mm, PE bag : 120×85×0.07mm, Net weight-9.9g, Gross weight-11.5g

◊General packing (PE bag)

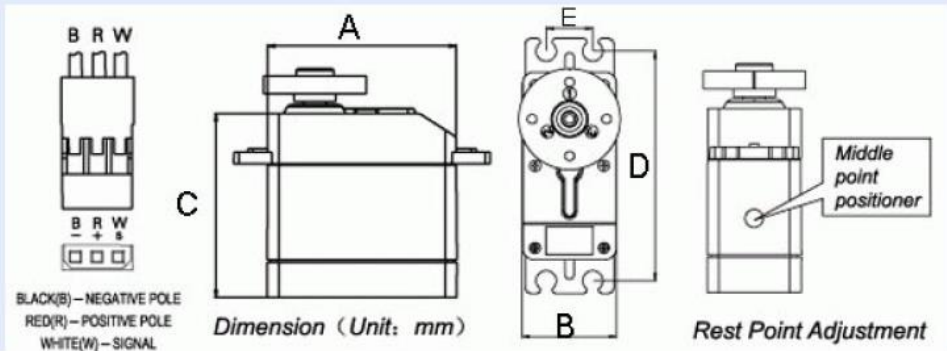
Packaging content : Packing with PE bag

Packaging specifications : PE bag size-90×85×0.07mm, Net weight-9.9g, Gross weight-11.5g

SPRINGRC SM-S4303R



Products specification								Technical parameters						
Size (mm)					Weight		Wire	4.8V			6V			Rotation angle
								Speed	Torque		Speed	Torque		
A	B	C	D	E	g	oz	cm	rpm	kg·cm	oz·in	rpm	kg·cm	oz·in	
41.3	20.7	40.2	50.3	10.0	41	1.45	30.0	43	3.3	45.91	54	5.1	70.95	360°
(Specifications are subjected to change without notice.)														





## 43R Servo(360° Rotation) Specification

*Thank you for choosing Spring Model's product*

MODEL	TYPE	WEIGHT		4.8V			6V			DESCRIPTION	
		g	oz	SPEED	TORQUE		SPEED	TORQUE		GEAR	BEARING
				r/min	kg.cm	oz.in	r/min	kg.cm	oz.in		
SM-S4303R	Analog	44	1.55	60	3.3	45.8	70	4.8	66.7	1Metal Gear+ 4Plastic Gear	2
SM-S4306R		44	1.55	60	5.0	69.4	50	6.2	86.1	1Metal Gear+ 4Plastic Gear	2
SM-S4309R		60	2.12	58	7.9	109.7	49	8.7	120.8	1Metal Gear	2
SM-S4315R		60	2.12	62	14.5	201.4	53	15.4	213.9	1Metal Gear	2

▲ 43R Robot series servo controled via analog signal(PWM),stopped via middle point positiner.

▲ Standard interface(like JR)with 30cm wire.

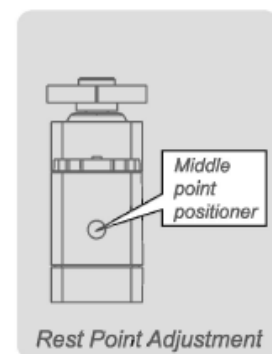
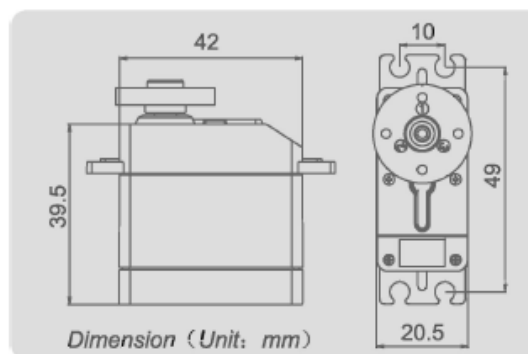
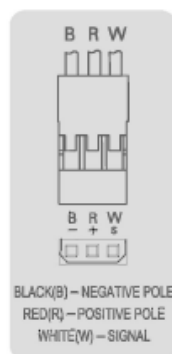
▲ Rotation and Rest Point Adjustment:when analog signal inputs,servo chooses orientation according to impulse width.when intermediatevalue of impluse width is above 1.5ms, servo is clockwise rotation,conversely,anticlockwise.Rest point need use slotted screwdriver to adjust the positioner carefully.Servo stopped rotation when the input signal is equivalent to impulse width.

▲ Please choose correct model for your application.

Caution: Torque over-loaded will damage the servo's mechanism.

▲ Keep the servo clean and away from dust, corrosive gas and humid air.

▲ Without further notification when some parameters slightly amend for improving quality.



SPRING MODEL ELECTRONICS Co.,LTD.

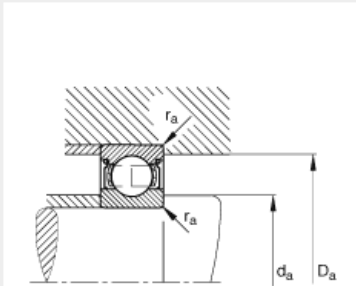
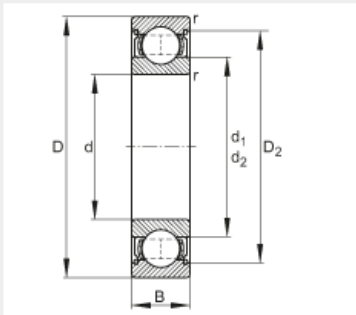
MADE IN CHINA

XBBS4306R119 V1.0



Rodamiento rígido a bolas 61807-2Z

medidas principales según DIN 625-1, obturación por paso estrecho en ambos lados



d	35 mm
D	47 mm
B	7 mm

D <sub>2</sub>	44 mm
D <sub>a max</sub>	45 mm
d <sub>1</sub>	38,2 mm
d <sub>a min</sub>	37 mm
r <sub>a max</sub>	0,3 mm
r <sub>min</sub>	0,3 mm

m	0,032 kg	Peso
C <sub>r</sub>	4700 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C <sub>0r</sub>	3350 N	Capacidad de carga estática, radial
n <sub>G</sub>	18300 1/min	Velocidad límite
n <sub>B</sub>	9900 1/min	Velocidad de referencia
C <sub>ur</sub>	170 N	Carga límite de fatiga, radial



## 10.6. Carga horària de treball del projecte

DEDICACIÓ TOTAL	271		Progrés (%)	90,3 a falta de preparar la presentació					
ACTIVITAT	LECTURA BIBLIOGRAFIA	SOFTWARE	CERCA DE PROVEEDORS	DISSENY	UMENTACIÓ/CÀLC	CONSTRUCCIÓ	COMPRES	PLÀNOLS	RENDER
DIA	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)	TEMPS (H)
08/02/2016	1	1,5							
09/02/2016	1		1						
10/02/2016			1	1					
11/02/2016	1				1				
15/02/2016						1			
16/02/2016							0,5		
18/02/2016							1		
21/02/2016			0,25	0,25	1				
28/02/2016			1,5						
29/02/2016							1,5		
01/03/2016							1		
05/03/2016							1		
06/03/2016				3	1	1,25	0,5		
11/03/2016							1		
13/03/2016			1		1		1		
19/03/2016						4			
20/03/2016						4			
09/04/2016						3	1		
10/04/2016						4			
17/04/2016					1,5	1			
19/04/2016					1	0,5			
20/04/2016				1					
23/04/2016				2					
25/04/2016				1					
26/04/2016				1,5					
30/04/2016					1,5				
07/05/2016					6				
08/05/2016					7				
09/05/2016					2				
11/05/2016					1				
12/05/2016					0,5	0,5			
15/05/2016					5				
16/05/2016					2,5				
17/05/2016					1				
19/05/2016					1				
22/05/2016					1				
23/05/2016							1		
24/05/2016						3	0,5		
25/05/2016						3,5			
26/05/2016						1,5			
07/06/2016					3,5				
08/06/2016					2,5				
09/06/2016					3,5				
11/06/2016					2				
12/06/2016					7,5				
13/06/2016					2,5				
14/06/2016					2				
20/06/2016					1,5				
21/06/2016					2				
25/06/2016					8				
26/06/2016					3				
27/06/2016					6				
28/06/2016					4				
29/06/2016					4,5				
04/07/2016					6				
05/07/2016					5				
06/07/2016								2,5	
08/07/2016								8	
09/07/2016								2,5	8
10/07/2016					11,75				
11/07/2016					5				
12/07/2016					4				
13/07/2016					4				
14/07/2016					3				
15/07/2016					4				
16/07/2016					6				
18/07/2016		3							
19/07/2016		3							
20/07/2016					3				
21/07/2016					6				
22/07/2016					4				
23/07/2016					5,5				
24/07/2016					8				
25/07/2016					4				
26/07/2016					7				
27/07/2016					7				
28/07/2016					7				

